

**VALORIZAÇÃO ENERGÉTICA DO BIOGÁS GERADO  
NO TRATAMENTO DE EFLUENTE DE UMA  
INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA**

Francisco Alexandre de Sales Neto

Orientador: Prof. Dr. Paulo Belli Filho

2011/2



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA  
E AMBIENTAL

VALORIZAÇÃO ENERGÉTICA DO BIOGÁS GERADO NO  
TRATAMENTO DE EFLUENTE DE UMA INDÚSTRIA  
ALIMENTÍCIA

Francisco Alexandre de Sales Neto

FLORIANÓPOLIS, (SC)  
DEZEMBRO/2011

SALES NETO, Francisco Alexandre

Valorização energética do biogás gerado no tratamento de efluente de uma indústria alimentícia

Francisco Alexandre de Sales Neto - Florianópolis, 2011.

65p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)

Universidade Federal de Santa Catarina.

Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental.

Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Energy recovery from biogas generated in the treatment of effluent from a food industry.

1. reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo; 2. abate e processamento de aves; 3. valorização de biogás.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA  
E AMBIENTAL

VALORIZAÇÃO ENERGÉTICA DO BIOGÁS GERADO NO  
TRATAMENTO DE EFLUENTE DE UMA INDÚSTRIA  
ALIMENTÍCIA

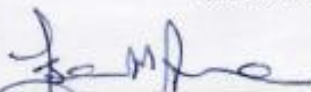
FRANCISCO ALEXANDRE DE SALES NETO

Trabalho submetido à Banca Examinadora como  
parte dos requisitos para Conclusão do Curso de  
Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental

BANCA EXAMINADORA :



Prof. Dr. Paulo Belli Filho  
(Orientador)



Prof. Dr. Fernando Soares Pinto Sant'Anna  
(Membro da Banca)



Engº Msc. André Luiz Montagna da Rosa  
(Membro da Banca)

FLORIANÓPOLIS, (SC)  
DEZEMBRO/2011

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por Jesus Cristo, sem o qual nenhum discurso de sustentabilidade e amor ao próximo faz sentido.

Agradeço a minha mãe pelo amor dedicado e pelos provérbios como: “o sábio ouve mais do que escuta!”. Ao meu pai, do qual herdei as entradas na cabeça e o gosto pela música. Aos dois, agradeço pelos princípios bíblicos transmitidos e pela presença constante.

Aos meus irmãos Heitor, Carolina e Filipe por terem sido companhias e exemplos durante toda a minha vida.

À Kysa Schlote, minha amiga, conselheira e namorada e sem a qual eu não seria o mesmo, por tantas vezes me ouvir falar dos assuntos relacionados ao TCC como se entendesse tudo. Ela me faz feliz.

Aos amigos da Igreja Batista Nacional do Norte da Ilha e da Aliança Bíblica Universitária, pelas orações, conversas, meditações e festas.

À todos os meus professores, colegas e amigos da UFSC.

Ao meu orientador, Paulo Belli, pelas ricas contribuições ao TCC. Ao meu chefe de estágio, André, com o qual aprendi a me interessar pela sustentabilidade, ética e profissionalismo no mercado de trabalho.

Aos catarinenses por terem recebido uma família de paulistas nordestinos que daqui fizeram seu lar.

Ao povo brasileiro por literalmente pagar meus estudos numa universidade excepcional como a UFSC.

*“A terra satisfaz as necessidades de todos,  
mas não a voracidade dos consumistas”*

*(Mahatma Gandhi)*

## RESUMO

O aumento da população induz a necessidade de produção de alimentos. Essa produção é sempre executada, porém, à custa de impactos ambientais significativos. Um exemplo disso é a indústria de abate e processamento do frango cujos efluentes não tratados causam sérios impactos ambientais aos ecossistemas e, mesmo quando tratados, emitem gases de efeito estufa através do produto do tratamento anaeróbio, o biogás. Para reduzir esses impactos sobre o clima foi assinado em 1997 o protocolo de Quioto com o objetivo de reduzir as emissões desses gases por parte dos países desenvolvidos e, através do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, permitir que países em desenvolvimento possam elaborar projetos que reduzam suas emissões e ainda vender essas reduções como créditos de carbono. Para isso dimensionou-se dois reatores com volume de  $1.667,25 \text{ m}^3$ , área de  $185,25 \text{ m}^2$  e altura de 9,0 m cada. Os reatores juntos produzirão um volume diário de biogás igual a  $8.235,58 \text{ m}^3/\text{d}$ , que irá suprir aproximadamente 12% da demanda de energia elétrica da unidade industrial Doux Frangosul, propiciando R\$ 632.992,18 por ano em créditos de carbono e uma economia de R\$ 1.270.080,00 de gastos com energia elétrica por ano. Dessa maneira, o investimento inicial gasto na construção do reator UASB e na aquisição dos grupos geradores à biogás terá um retorno em 1,33 anos.

**Palavras - chave:** reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo; abate e processamento de aves; valorização de biogás.

## ABSTRACT

The population increase induces the need for food production. This production is always executed at the expense of significant environmental impacts. An example is the slaughter and processing industry of the chicken whose untreated effluents cause serious environmental impacts to ecosystems, and even when handled, emit greenhouse gases by product of anaerobic treatment, biogas. To reduce these impacts on climate in 1997 was signed the Kyoto Protocol aimed at reducing greenhouse gas emissions by developed countries through the Clean Development Mechanism, to allow developing countries to develop projects that reduce emissions and still sell these reductions as carbon credits. For that, It is dimensioned two reactors with a volume of  $1,667.25 \text{ m}^3$ , an area of  $185.25 \text{ m}^2$  and a height of 9.0 m each. The reactors together produce a daily volume of biogas equals  $8235.58 \text{ m}^3/\text{d}$ , which will provide approximately 12% of the electricity demand of the industrial unit Doux Frangosul, providing R\$ 632,992.18 per year in carbon credits and savings R\$ 1,270,080.00 of spending power per year. Thus, the initial investment spent on the construction of the UASB reactor and the acquisition of the biogas generators will return in 1,33 years.

**Keywords:** upflow anaerobic sludge blanket, slaughter and poultry processing, biogas recovery



## SUMÁRIO

<b>SIGLAS E ABREVIACÕES</b>	<b>I</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>II</b>
<b>ÍNDICE DE TABELAS</b>	<b>III</b>
<b>ÍNDICE DE EQUAÇÕES</b>	<b>IV</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS</b>	<b>4</b>
2.1 Objetivo geral	4
2.2 Objetivos específicos	4
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>5</b>
<b>3.1 Indústria de beneficiamento do frango</b>	<b>5</b>
3.1.1 Consumo e produção da carne de frango	5
3.1.2 Processo produtivo	6
3.1.3 Efluentes líquidos em abatedouros de aves	9
3.1.4 Processos de tratamento utilizados	13
<b>3.2 Impacto ambiental</b>	<b>15</b>
<b>3.3 Legislação</b>	<b>16</b>
<b>3.4 Processos biológicos de tratamento</b>	<b>17</b>
3.4.1 Fundamentos	17
3.4.2 Processos aeróbios e anaeróbios	17
3.4.3 Etapas da digestão anaeróbia	19
<b>3.5 Biogás</b>	<b>21</b>
<b>3.6 UASB</b>	<b>25</b>
3.6.1 Introdução	25
3.6.2 Princípio de funcionamento	25
3.6.3 Vantagens e desvantagens	27
3.6.4 Projeto de reator UASB	28
<b>3.7 Mudanças Climáticas</b>	<b>28</b>
3.7.1 Protocolo de Quioto e MDL	30
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>33</b>
<b>4.1 Descrição do local</b>	<b>33</b>
<b>4.2 Coleta de dados</b>	<b>35</b>
<b>4.3 Descrição do processo industrial</b>	<b>35</b>
4.3.1 Processo de abate	36
4.3.2 Processamento de subprodutos	37
<b>4.4 Descrição do tratamento de efluentes</b>	<b>39</b>
4.4.1 Etapas preliminares	39
4.4.2 Estação de tratamento de efluentes	40
<b>4.5 Caracterização do efluente industrial</b>	<b>43</b>

<b>4.6</b>	<b>Dimensionamento do Reator UASB</b>	<b>43</b>
4.6.1	Carga orgânica Volumétrica	44
4.6.2	Velocidade superficial de fluxo	44
4.6.3	Estimativa de concentração de DQO efluente	45
4.6.4	Produção de biogás	45
4.6.5	Produção de lodo	46
<b>4.7</b>	<b>Estimativas de créditos de carbono</b>	<b>47</b>
4.7.1	Emissão no tratamento anaeróbio	47
<b>4.8</b>	<b>Estimativa de custos e receitas</b>	<b>48</b>
4.8.1	Construção e operação do UASB	48
4.8.2	Consumo de Energia	49
4.8.3	Geração de energia elétrica	49
4.8.4	Créditos de carbono	50
4.8.5	Método Payback (PB)	51
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>52</b>
<b>5.1</b>	<b>Avaliação do processo industrial e tratamento</b>	<b>52</b>
<b>5.2</b>	<b>Dimensionamento do UASB</b>	<b>54</b>
<b>5.3</b>	<b>Créditos de carbono</b>	<b>55</b>
<b>5.4</b>	<b>Custos e receitas</b>	<b>55</b>
5.4.1	Construção e operação do UASB	55
5.4.2	Consumo de energia elétrica	55
5.4.3	Geração de energia	56
<b>5.5</b>	<b>Balanço financeiro</b>	<b>56</b>
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>58</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>59</b>



## **SIGLAS E ABREVIACÕES**

ABEF - Associação brasileira de produtores e exportadores de frango

ABNT - Associação brasileira de normas técnicas

CONAMA - Conselho nacional de meio ambiente

CQNUMC - Convenção - Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima

DBO - Demanda bioquímica de oxigênio

DBO<sub>5</sub> - Demanda bioquímica de oxigênio, feita em cinco dias.

DQO - Demanda química de oxigênio

GEE - Gases de efeito estufa

IPCC - Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas

MDL - Mecanismo de Desenvolvimento Limpo

OMM - Organização Meteorológica Mundial

PNUMA - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

UASB - Reator anaeróbico de fluxo ascendente e manta de lodo

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Carnes: consumo per capita no Brasil em kg/hab/ano.....	5
Figura 2 - Exemplos de produtos processados na indústria de processamento de frango:.....	9
Figura 3 - Balanço esquemático de DQO nos sistemas aeróbios e anaeróbios. Fonte: adaptado de Chernicharo (1997).....	18
Figura 4 - Rotas metabólicas e grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia. Fonte: adaptado de Lettinga <i>et al.</i> (1996).....	20
Figura 5 - Desenho esquemático de um reator UASB. Fonte: Campos (1996).....	26
Figura 6 - Localização do município de Montenegro, estado do Rio Grande do Sul (no detalhe do mapa do Brasil) .....	34
Figura 7 - Localização da unidade Doux em Montenegro/RS. ....	34
Figura 8 - Fluxograma do processo de abate da Doux Frangosul. ....	36
Figura 9 - Fluxograma de processamento de subprodutos da Doux Frangosul.....	38
Figura 10 - Fluxograma dos procedimentos preliminares de tratamento. .....	39
Figura 11 - Flotador inoperante da Doux.....	40
Figura 12 - Medidor de vazão (calha Parshall) e peneira a montante da ETE. ....	40
Figura 13 - Lagoas de estabilização Doux: 1) Lagoa anaeróbia 1. 2) Lagoa facultativa aerada. 3) Lagoa facultativa convencional .....	41
Figura 14 - Fluxograma da ETE Doux Frangosul.....	42
Figura 15: Grupo gerador a biogás.....	50
Figura 16 - Readequação do layout de tratamento .....	53

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Características de Efluentes de Abatedouros Avícolas .....	11
Tabela 2 - Características de Efluentes Brutos segundo resultado de levantamento efetuados em abatedouro.....	12
Tabela 3 - Composição média do biogás.....	21
Tabela 4 - Equivalência energética entre 1 m <sup>3</sup> de Biogás e outras fontes energéticas.....	24
Tabela 5 - Principais GEE e suas fontes.....	29
Tabela 6 - Resultados de parâmetros de análise do efluente da Doux...	43
Tabela 7 - Dados de fornecimento e consumo de Energia elétrica.....	49
Tabela 8 - Principais características do grupo gerador (1) .....	50
Tabela 9 - Principais características do grupo gerador (2) .....	50
Tabela 10 - Principais parâmetros hidráulicos de cada reator UASB....	54
Tabela 11 - Principais parâmetros de eficiência global (UASB).....	54
Tabela 12 - Custos e despesas: valorização energética biogás .....	56

## ÍNDICE DE EQUAÇÕES

Equação 1: Carga orgânica volumétrica.....	44
Equação 2: Volume do reator.....	44
Equação 3: velocidade ascensional .....	45
Equação 4: Estimativa da DQO efluente.....	45
Equação 5: Balanço de DQO (1).....	45
Equação 6: Balanço de DQO (2).....	46
Equação 7: DQO convertida em biomassa.....	46
Equação 8: Produção de lodo.....	47
Equação 9: produção volumétrica de lodo .....	47
Equação 10 - Emissão de GEE no tratamento de efluentes .....	48
Equação 11: Método Payback.....	51

## 1. INTRODUÇÃO

O aumento excessivo do consumo e o descaso com a degradação do meio ambiente têm contribuído, em muito, para níveis alarmantes da poluição ambiental nas últimas décadas. Atrelado a isso se tem uma sociedade de consumo que direciona o mercado ao aumento da produção de bens de consumo e alimentos. Segundo a teoria Malthusiana, a população cresce em uma progressão aritmética enquanto a produção de alimentos numa progressão geométrica. Apesar de essa teoria ser controversa, uma coisa é certa: haverá falta de alimentos para a população daqui a alguns anos. Quase 1 bilhão de pessoas passam fome todo o dia. Daqui a algumas décadas, haverá mais 2 bilhões de bocas a ser alimentadas, a maioria em países pobres. E bilhões de outras pessoas lutarão para sair da miséria. Se seguirmos pelo caminho percorrido pelas nações desenvolvidas - desmatando florestas, queimando carvão e petróleo, usando fertilizantes e pesticidas com abundância -, vai ser enorme o impacto sobre os recursos naturais do planeta (National Geographic, 2011).

Observa-se então que o aumento da população induz a necessidade de produção de alimentos. Essa produção é sempre executada, porém, à custa de impactos ambientais significativos. Um exemplo disso é a indústria de abate e processamento do frango. O Brasil se apresenta como o terceiro maior produtor mundial de carne de frango em receita cambial e volume exportado (12,230 milhões de toneladas em 2010, segundo a ABEF, (2010)). A indústria de abate de animais se destaca na região sul do Brasil, onde os locais de abate variam de simples pranchas de abate até matadouros muito modernos. O processo de abate inicia com a morte do animal, em seguida, o sangue, o couro ou pele, intestinos e órgãos internos são retirados. A carcaça é transformada em diferentes produtos cárneos através de: corte, migagem, cura ou enlatamento (CETESB, 2003). São produzidas grandes quantidades de despojos comestíveis e não comestíveis. A maior parte destes produtos poderia sofrer processamento e ser utilizada, mas isto nem sempre acontece. Os subprodutos são frequentemente desperdiçados e atirados ou descarregados nas águas de superfície (CETESB, 2003). A principal forma de tratamento desses efluentes é a anaeróbia, através de reatores de manta de lodo (UASB). Um de seus produtos é o biogás, formado em grande parte por metano, importante gás causador do efeito estufa.



Um dos resultados desse processo é o aquecimento global causado pela emissão descontrolada dos chamados gases do efeito estufa (GEE), sobretudo o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e o gás metano ( $\text{CH}_4$ ). Segundo especialistas, os efeitos do aquecimento global vão desde a elevação do nível dos oceanos, por expansão térmica e pelo derretimento das geleiras e calotas polares, passando pela intensificação de fenômenos naturais como furacões, enchentes e secas, até o acirramento da incidência de problemas relacionados com o abastecimento de água, de produção de alimentos e aumento de doenças endêmicas. A importância de cada um desses GEE depende da sua concentração na atmosfera e da capacidade de aquecer o planeta, que por sua vez, é função da capacidade de absorver a radiação térmica e do tempo de vida do gás na atmosfera. As concentrações dos gases que são diretamente influenciadas pelas atividades humanas são:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ , HFCs,  $\text{SF}_6$  e PFCs. Desde a revolução industrial, a concentração desses gases na atmosfera vem crescendo significativamente, aumentando a quantidade de energia que fica retida no planeta. De todos esses gases, o  $\text{CO}_2$  é o gás que mais contribuiu para esse aquecimento global, sendo responsável por cerca de 60% do aumento do efeito estufa. O metano vem em segundo lugar com 20% e o óxido nitroso com cerca de 6% (Houghton, 1997 apud SOUZA, 2005).

Deve-se, portanto, atacar as fontes do problema, reduzindo as emissões. Nesse sentido, o protocolo de Quioto, acordo internacional discutido e negociado na cidade japonesa de Quioto em 1997, é considerado um avanço importantíssimo na redução dos GEE e consequente redução do aquecimento global. Nele os países signatários se comprometem a, até 2012, diminuir suas emissões de GEE em 5,2% em relação aos níveis de 1990. Entrou em vigor em 16 de fevereiro de 2005, e foi ratificado por 36 países do grupo dos mais ricos do planeta (os países desenvolvidos e responsáveis por 80% da poluição mundial). Os mecanismos adicionais de implementação, bem como, o Protocolo de Kyoto, mais especificamente, o MDL, necessitavam de regulamentação complementar sendo objeto dos Acordos de Marraqueche, firmados em novembro de 2001, durante a 7ª. Sessão da Conferência das Partes da Convenção, ou simplesmente COP-7. A Convenção - Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima - CQNUMC, adotada durante a ECO 92 e ratificada, aceita, aprovada ou aderida por 185 países mais a União Européia, estabeleceu um regime jurídico internacional para atingir o objetivo principal de alcançar a estabilização das concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera

em nível que impeça uma interferência antrópica perigosa no sistema climático.

O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) foi criado a partir do Protocolo de Kyoto, dentro do princípio de que o mercado poderia auxiliar no processo de redução das emissões de gases de efeito estufa através dos Créditos de Carbono. A proposta do MDL consiste em que cada tonelada de CO<sub>2</sub> deixada de ser emitida ou retirada da atmosfera por um país em desenvolvimento poderá ser negociada no mercado mundial, criando um novo atrativo para a redução das emissões globais. (CENAMO, 2004)

Para isso as indústrias, grandes responsáveis pelas emissões de GEE, necessitam possuir um sistema mais adequado de gerenciamento do tratamento dos seus efluentes, proporem alternativas para a redução das suas emissões e promoverem o uso de fontes energéticas renováveis.

O comprometimento das empresas em atingir metas para o benefício do meio ambiente agrega valor à marca e ao produto ao mesmo tempo em que reduz custos de operação de processos produtivos. A adoção de práticas como o reaproveitamento do biogás para fins energéticos gera uma economia para a empresa em termos de gastos com energia elétrica.

O aumento da demanda por processos sustentáveis é um exemplo de que as empresas devem adotar uma política ambiental de forma a obter um diferencial competitivo frente à outras empresas demonstrando assim sua responsabilidade socioambiental. Dessa maneira, o benefício de projetos como o aproveitamento de biogás para fins energéticos visa a valorização da empresa, mas contribui também para a qualidade de vida da população, já que a redução de GEE ameniza o processo de aquecimento global e coopera para a sustentabilidade socioambiental.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo geral avaliar a viabilidade de reaproveitamento energético do biogás gerado no tratamento de efluente de uma indústria alimentícia.

### **2.2 Objetivos específicos**

Os objetivos específicos são:

- Avaliar as potencialidades do uso de um reator tipo UASB no tratamento das águas residuárias integrado ao aproveitamento energético proveniente do biogás produzido nesse reator;
- Estimar custos de implantação, de operação e de valorização energética do biogás;
- Quantificar os créditos de carbono que podem ser adquiridos por intermédio da redução das emissões de gás metano em equivalentes de CO<sub>2</sub>.

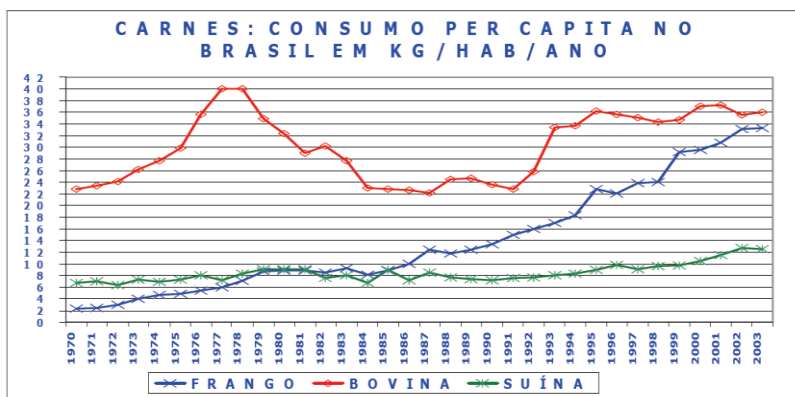
### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para o entendimento maior dos conceitos associados ao presente trabalho, faz-se necessária uma revisão bibliográfica sobre os mesmos. Inicia-se, portanto, abordando a indústria de beneficiamento de frango, impacto ambiental, legislação, processos biológicos, biogás, UASB e por fim as mudanças climáticas.

#### 3.1 Indústria de beneficiamento do frango

##### 3.1.1 Consumo e produção da carne de frango

O consumo de carne de frango é influenciado pelas características étnicas, pela cultura de consumo e até mesmo por um apelo de alimentação saudável, visto que os habitantes das grandes cidades evidenciam o perfil de um consumidor que necessita de alimentos com conteúdo calórico reduzido, fácil e rapidamente elaborável. Essa mudança de hábitos alimentares da população aumentou significativamente o consumo per capita de carne de frango, conforme mostrado no gráfico 1.



**Gráfico 1 - Carnes: consumo per capita no Brasil em kg/hab/ano. Fonte: COGO, 2004**

O aumento demonstrado no gráfico 1 reflete o avanço da produção de frango que, segundo a ABEF (Associação Brasileira dos Produtores e Exportadores de Frango), chegou a 12,230 milhões de toneladas em 2010, em um crescimento de 11,38% em relação a 2009, quando foram produzidas 10,980 milhões de toneladas. Com este desempenho o Brasil se aproxima da China, hoje o segundo maior produtor mundial, cuja produção de 2010 teria somado 12,550 milhões de toneladas, abaixo apenas dos Estados Unidos, com 16,648 milhões de toneladas, conforme projeções do Departamento de Agricultura dos EUA (USDA). O crescimento em 2010 foi impulsionado principalmente pelo aumento de consumo de carne de frango e pela expansão de 5,1% nas exportações (ABEF, 2010).

Para suprir toda essa demanda, as indústrias dispõem de um processo produtivo de onde se resulta o frango processado a ser comercializado assim como despejos a serem tratados.

### **3.1.2 *Processo produtivo***

O processamento das aves ocorre basicamente para que ocorra a conversão da carne em um produto comestível, eliminando componentes não desejados tais como: sangue, penas, vísceras, patas, cabeça e ainda evitar contaminação bacteriana. A qualidade final do produto depende não somente da condição em que estava a ave ao chegar ao local para ser processada, mas também como a ave é manipulada durante a operação. Lesões, ossos quebrados, partes ausentes, alta quantidade de carcaças reprocessadas podem ocasionar perdas econômicas significativas.

O processo de abate de frangos está dividido em: recepção, atordoamento, sangria, escaldagem, depenagem, evisceração, lavagem final, resfriamento, gotejamento, embalagem, armazenamento e aproveitamento dos subprodutos.

Na etapa de recepção, as aves chegam ao abatedouro dentro de gaiolas através de caminhões. Para aumentar o conforto das aves nesta etapa e reduzir a mortalidade enquanto aguardam para adentrar no abatedouro, a área de recepção é dotada de chuveiros e ventiladores. As aves doentes ou mortas são separadas para a produção de farinhas. Após a retirada das aves da etapa de recepção, toda a área e os caminhões são lavados (MATSUMURA, 2007). Os resíduos gerados nesta etapa são fezes, penas e água de limpeza. O consumo de água nesta etapa em um frigorífico médio (que abate de 100.000 a 250.000 aves/dia) é em torno de 12.700 litros por dia nesta etapa (FERNANDES, 2004).

Na etapa de atordoamento, as aves, que provêm da etapa de recepção, presas pelos pés no transportador aéreo, recebem um choque elétrico de 70 V na região da cabeça. Este procedimento imobiliza as aves e auxilia no relaxamento dos músculos para melhor extração do sangue (MATSUMURA, 2007).

Na etapa de sangria, as aves recebem um corte na veia jugular e seguem por um túnel onde o sangue escorre por canaletas seguindo para a fábrica de farinhas ou comercialização ou para a Estação de Tratamento (MATSUMURA, 2007). O sangue representa cerca de 6-8% do peso dos animais e possui valor econômico. Uma melhor remoção de sangue nesta etapa do processo representa uma redução na quantidade de resíduos produzidos (FERNANDES, 2004). Após o abate toda a área de atordoamento e sangria é lavada e o efluente segue para a Estação de Tratamento.

Na etapa de escaldagem, as aves passam pela primeira etapa de lavagem através da imersão em tanques de aço inoxidável com água a cerca de 55° a 60°C por 90 a 120 segundos (MATSUMURA, 2007). Esta etapa tem como função lavar as aves, reduzir a carga microbiana e facilitar a depenagem. A geração de efluente na etapa de escaldagem é alta, cerca de 10 L/ave, com características de alta matéria orgânica devido à presença de sangue e gordura das penas (ANDRADE JUNIOR, 1993 apud DA SILVA, 2005).

A remoção das penas, na etapa da depenagem, ocorre de forma contínua em máquinas depenadeiras em série. Nesta etapa há injeção contínua de água fria através de chuveiros. As penas, que representam cerca de 3-5% do peso vivo dos frangos, são recolhidas por meio de canaletas no piso e transportadas com água para a fábrica de farinhas (MATSUMURA, 2007).

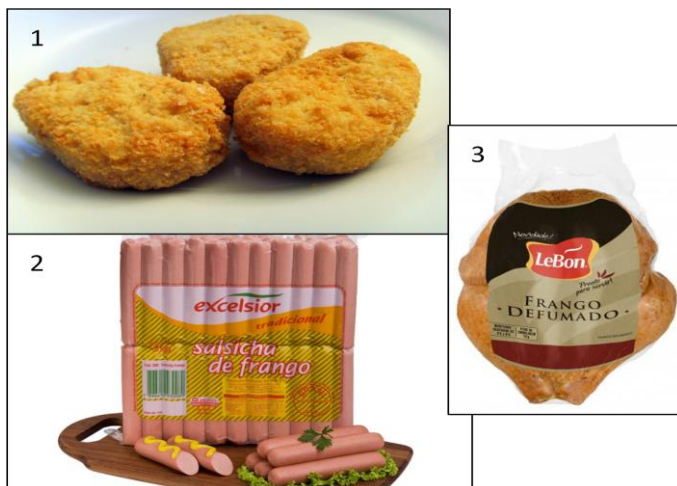
Após a remoção das penas e limpeza externa, as aves passam para a etapa de evisceração, onde receberão um corte no abdome, terão retiradas as vísceras abdominais e pulmões e separados os miúdos. As vísceras não comestíveis seguem para a fábrica de farinhas. Os miúdos comestíveis são selecionados e resfriados em tanque aberto com gelo. Após a retirada dos órgãos internos, as aves recebem aspersão de água para limpeza final (MATSUMURA, 2007). Os miúdos são normalmente transportados com água e, neste caso, corresponde à cerca de 1/3 da carga poluente gerada (FERNANDES, 2004).

Até a etapa de evisceração as aves são transportadas por ganchos. Após esta etapa, as aves caem em um tanque aberto para pré-resfriamento (sistema de resfriadores contínuos por imersão), chamado

Pré-Chiller, seguindo para o tanque de resfriamento, Chiller, onde a água permanece a 4°C pela adição de gelo (MATSUMURA, 2007). Os Chillers devem ter renovação contínua de água na proporção de 1,5 L/ave no primeiro estágio e de 1,0 L/ave no segundo estágio (EBERT, 2007). Após a etapa de resfriamento, as aves seguem para a etapa de gotejamento, para remoção da água em excesso e então para embalagem e armazenamento.

Depois de passar pelo processo de abate e serem armazenadas, as aves são processadas para se tornarem disponíveis a comercialização aos consumidores. Nesse processo, os principais produtos industrializados são os reestruturados, empanados e embutidos (figura 2) (SILVA *et al*, 2007):

- Produtos reestruturados são feitos a partir de uma emulsão que consiste em misturar ingredientes hidrossolúveis (que dissolvem em água) e lipossolúveis (que dissolvem em gordura) num "cutter", de preferência, a vácuo e baixa temperatura. A mistura resultante, devido à extração das proteínas solúveis, torna-se viscosa e os pedaços de carne tornam-se aderentes. A massa cárnea é então enchida, ou formada, preferencialmente sob vácuo para prevenir bolsões de ar dentro do produto. Este tipo de produto pode ser servido a frio, em fatias.
- Produtos empanados são partes de aves ou porções reestruturadas que entram automático ou manualmente na esteira de um processo contínuo, passando por uma máquina glazeadora que forma um filme (batter) sobre o produto, seguindo para a aplicação de farinha de rosca. Este produto geralmente é pré-frito para realizar o cozimento parcial ou completo do produto.
- Embutidos fermentados são produtos feitos a base de pedaços de carne que sofrem uma fermentação por microrganismos, podendo subsequentemente serem cozidos e defumados. Estes produtos são caracterizados pelo seu sabor pungente e, em muitos casos, pela firmeza da textura que requer mais mastigação para ingestão.



**Figura 2 - Exemplos de produtos processados na indústria de processamento de frango:**

**1) Empanados. 2) Reestruturados. 3) Embutidos defumados**

### ***3.1.3 Efluentes líquidos em abatedouros de aves***

A norma NBR 9.800 conceitua efluente líquido industrial como sendo o despejo líquido proveniente do estabelecimento industrial, compreendendo emanções de processo industrial, águas de refrigeração poluídas, águas pluviais poluídas e esgoto doméstico (ABNT, 1987). Os frigoríficos de aves geram efluentes líquidos em cinco linhas do processo produtivo (OLIVO, 2006):

I. LINHA RECEPÇÃO: efluente proveniente da lavagem dos caminhões, piso da recepção e gaiolas de frangos, juntamente com a água drenada dos boxes de espera com arraste de resíduos. Este efluente é constituído de partículas sólidas como areias, fezes e penas.

II. LINHA DE PENAS: efluente contendo penas e cutículas, drenado da etapa de depenagem.

III. LINHA DE VÍSCERAS: efluente de drenagem e arraste vísceras e gorduras.

IV. LINHA DE OSSOS: efluente gerado no setor de pré-cozidos e empanados formado pela água gerada da drenagem e arraste de ossos.



V. LINHA SANGUE: efluente gerado na higienização do setor de sangria.

Embora as agroindústrias de abate e industrialização da carne de frango instaladas no Brasil possuam uma grande similaridade no processo produtivo, pequenas variações nos tipos de cortes da carne e seus tipos diferenciados de produtos industrializados refletem em diferentes características físico-químicas do efluente bruto (OLIVO, 2006).

De maneira geral, os efluentes de abatedouros de aves são compostos de material protéico, gorduras, penas, areia, fezes e ossos. Do ponto de geração até a entrada da Estação de Tratamento de Efluentes, a qualidade do efluente é determinada pela eficiência na segregação do sangue, vísceras, penas e ossos.

Além do processo produtivo empregado e dos tipos de produtos industrializados produzidos, outro fator que influencia nas características do efluente gerado é o consumo de água. Segundo Ockerman et al (1994), o valor de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio, medida indireta da matéria orgânica presente no despejo) aumenta de forma proporcional ao maior consumo da água no abatedouro. Ao contrário do pensamento lógico no qual o maior consumo de água causaria um efeito de diluição na carga orgânica, os autores afirmam que o consumo de água está ligado à “consciência de aproveitamento da água”. Desta forma, a menor utilização de água por animal abatido significa uma maior atenção despendida ao reaproveitamento dos resíduos gerados na planta (sangue, restos de tecidos, conteúdo intestinal), o que torna os efluentes menos carregados (OCKERMAN, et al., 1994).

Braile & Cavalcanti (1993) observaram em suas consultas que o consumo de água varia muito de abatedouro para abatedouro. Entretanto utilizam como base de cálculo o valor de 25 à 50 litros de água por cabeça.

Dentre os padrões de lançamento de efluentes fixados pelos órgãos ambientais, os parâmetros mais importantes para as indústrias de abate de frangos são: a carga orgânica, o pH, a temperatura, os materiais sedimentáveis, os óleos e graxas, o nitrogênio total e o fósforo total. Dentre estes parâmetros, os mais difíceis de serem atingidos são a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), nitrogênio e fósforo, devido à alta carga protéica e lipídica do efluente.

A tabela 1 a seguir apresenta características de efluentes de abatedouros avícolas estudados por diferentes autores. A caracterização

apresentada confirma a grande variação nos valores encontrados para os mesmos parâmetros em diferentes abatedouros avícolas.

**Tabela 1 - Características de Efluentes de Abatedouros Avícolas**

<b>Parâmetro</b>	<b>Valor referenciado</b>
<b>pH</b>	6,0 a 7,0 <sup>(1)</sup> ; 6,3 a 7,4 <sup>(2)</sup> ; 6,8 <sup>(3)</sup> ; 6,5 <sup>(4)</sup> ; 6,3 <sup>(5)</sup>
<b>Sólidos Totais (mg/L)</b>	3.000 <sup>(1)</sup> ; 650 <sup>(2)</sup> ; 1.440 <sup>(4)</sup>
<b>Sólidos Suspensos (mg/L)</b>	2.300 <sup>(1)</sup> ; 340 <sup>(4)</sup>
<b>Sólidos Dissolvidos (mg/L)</b>	700 <sup>(1)</sup> ; 1.100 <sup>(4)</sup>
<b>Sólidos Sedimentáveis (mL/L)</b>	1 a 50 <sup>(1)</sup> ; 150 a 200 <sup>(2)</sup>
<b>Óleos e Graxas (mg/L)</b>	500 a 1.500 <sup>(1)</sup> ; 170 a 230 <sup>(2)</sup>
<b>Demanda Química de Oxigênio (mg/L)</b>	3.000 a 6.000 <sup>(1)</sup> 460 <sup>(3)</sup>
<b>Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L)</b>	1.500 a 3.500 <sup>(1)</sup> ; 370 a 610 <sup>(2)</sup> ; 810 <sup>(3)</sup> ; 4.593 <sup>(5)</sup>
<b>Nitrogênio Amoniacal (mg/L)</b>	2 a 100 <sup>(1)</sup>
<b>Nitrogênio Total (mg/L)</b>	147 <sup>(5)</sup>
<b>Sulfetos (mg/L)</b>	50 a 100 <sup>(1)</sup> ; 0,480 <sup>(5)</sup>
<b>Fosfato Total (mg/L)</b>	114 <sup>(5)</sup>

Fontes: (1) OLIVO (2006); (2) EPA (1976) *apud* SCHOENHALS (2006); (3) CRHEA (1976) *apud* SCHOENHALS (2006); (4) DA SILVA (2005); (5) MATSUMURA (2007)

Os padrões estabelecidos através de estudos da CETESB (1980) apresentam a relação dos parâmetros do efluente gerado por 1000 aves abatidas, sendo apresentados tabela 2.

**Tabela 2 - Características de Efluentes Brutos segundo resultado de levantamento efetuados em abatedouro**

<b>Parâmetros</b>	<b>Unidade</b>	<b>Variação</b>	<b>Média</b>
<b>Vazão</b>	Litro/ave	9,7 - 15,8	11,9
<b>DBO<sub>5</sub></b>	kg/1000 aves	6,1 - 11,8	9,9
<b>Resíduo não filtrável total</b>	kg/1000 aves	2,1 - 8,6	5,2
<b>Resíduo não filtrável volátil</b>	kg/1000 aves	1,9 - 3,9	3,2
<b>Nitrogênio total</b>	kg/1000 aves	0,5 - 1,5	1,06
<b>Nitrogênio amoniacal</b>	kg/1000 aves	0,08 - 0,24	0,14
<b>Fósforo total</b>	kg/1000 aves	0,08 - 0,11	0,10
<b>NMP Coli total/1000 ml</b>	-	1,9x10 <sup>8</sup> a 8,7x10 <sup>8</sup>	4,02x10 <sup>8</sup>

Fonte: CETESB (1980)

Além dos despejos gerados no abate e processamento das aves, há também aquele originário do processamento dos subprodutos. Os subprodutos ou resíduos de matadouros correspondem a todos os produtos que não sejam pronta ou diretamente destinados ao consumo e uso humanos (BRAILE, 1993). Sua principal utilização é na fabricação de rações e farinhas protéicas.

Para serem utilizados como elemento na composição de rações para animais, os subprodutos devem ter a seguinte característica básica: possibilidade de serem digeridas pelos animais aos quais se destina a ração.

A conversão de proteína não assimilável para a forma assimilável é obtida por meio de hidrólise a alta temperatura, em meio alcalino ou ácido, na presença de catalisadores. O processo degrada a matéria prima a um nível útil. No meio onde se solubiliza, encontram-se também todos os componentes auxiliares da hidrólise. A separação da parte útil dá por coagulação ou precipitação. Os licores resultantes - ou seja, a fase líquida resultante da precipitação ou coagulação da proteína degradada - oferecem composição bastante heterogênea, dependendo do grau de degradação a que se submeteu a matéria prima e do processo empregado. Os componentes solúveis, solubilizados e não separados e os produtos químicos adicionados para a obtenção da degradação, são de difícil separação e, usualmente, são descartados juntamente com as águas servidas (BRAILE, 1993).

### **3.1.4 Processos de tratamento utilizados**

De acordo com NUNES, (2004), os processos de tratamento das águas residuárias consistem nas seguintes fases:

- Tratamento preliminar - remove apenas sólidos muito grosseiros, flutuantes e matéria mineral sedimentável. Os processos de tratamento preliminar são os seguintes: gradeamento ou peneiras estáticas, desarenadores, caixas de retenção de óleo e gordura;
- Tratamento secundário - remove matéria orgânica dissolvida e em suspensão. A DBO é removida quase que totalmente. Dependendo do sistema adotado, as eficiências de remoção são altas. Os processos de tratamento secundário são os seguintes: processos de lodos ativados, lagoas de estabilização, sistemas anaeróbios com alta eficiência, lagoas aeradas, filtros biológicos e precipitação química com alta eficiência;
- Tratamento terciário ou avançado - quando se pretende obter um efluente de alta qualidade, ou a remoção de outras substâncias contidas nas águas residuárias. Os processos de tratamento terciário são: adsorção em carvão ativo, osmose inversa, eletrodialise, troca iônica, filtros de areia, remoção de nutrientes, oxidação química e remoção de organismos patogênicos.

No sistema de tratamento de efluentes de abate avícola é mais usual o tratamento biológico, tendo como níveis de tratamento o preliminar, primário e secundário. O tratamento preliminar consiste, basicamente, na remoção dos sólidos grosseiros ou suspensos, sendo as caixas de areia responsáveis para a retenção desse material. Os tanques de flutuação são utilizados para retirada de óleos e graxas. No tratamento primário, ainda havendo sólidos em suspensão não grosseiros, sua remoção é feita através de gradeamento simples, peneiras vibratórias e peneiras estáticas, reduzindo parte da DBO. O tratamento secundário tem a predominância dos mecanismos biológicos, para a remoção da matéria orgânica e eventuais nutrientes. Nesta etapa, a remoção de sólidos e de matéria orgânica não sedimentável permite produzir um efluente em conformidade com o padrão de lançamento previsto na legislação ambiental, reduzindo com eficiência a DBO presente no efluente (GIORDANO, 2006).

Segundo Pacheco & Yamanaka (2006) o tratamento secundário visa a remoção de sólidos coloidais, dissolvidos e emulsionados,

principalmente por ação biológica, devido à característica biodegradável do conteúdo remanescente dos efluentes do tratamento primário. Nesta etapa, há ênfase nas lagoas de estabilização, especialmente as anaeróbias. Assim, como possibilidades de processos biológicos anaeróbios, podem-se citar: as lagoas anaeróbias (bastante utilizadas), processos anaeróbios de contato, filtros anaeróbios e digestores anaeróbios de fluxo ascendente.

Com relação a processos biológicos aeróbios, podem-se ter processos aeróbios de filme (filtros biológicos e biodiscos) e processos aeróbios de biomassa dispersa (lodos ativados – convencionais e de aeração prolongada, que inclui os valos de oxidação). Também é bastante comum observar o uso de lagoas fotossintéticas na sequência do tratamento com lagoas anaeróbias. Pode-se ter, ainda, tratamento anaeróbio seguido de aeróbio.

Conforme IMHOFF & IMHOFF (1998), os efluentes de frigoríficos podem ser tratados pelos mesmos processos que os empregados para esgotos domésticos, isto é por processos anaeróbios, por filtros biológicos de alta taxa, lodos ativados e também segundo BRAILE & CAVALACANTI (1993) podem ser por meio de discos biológicos rotativos e por sistemas de lagoas aeróbias e lagoas de estabilização.

A aplicabilidade de processos anaeróbios em efluentes de industriais de bebidas já é conhecida. HIRATA (1994) comenta outros segmentos industriais para os quais já existe experiência suficiente em tratamento anaeróbio e que ainda devem ter muito mercado para o futuro. São citados os segmentos de álcool, laticínios, alimentos frigoríficos/abatedouros, e papeis.

O número crescente de reatores anaeróbios de manta de lodo (UASB) aplicados no Brasil revela o seu potencial e sua viabilidade. Quanto aos efluentes industriais, até o final de abril de 1994, HIRATA (1994) registra 126 unidades de tratamento anaeróbico implantadas ou em implantação, sendo que destas, 107 (85%) empregam reatores anaeróbios de manta de lodo. Hoje o país é líder na utilização desse tipo de reator. Só no estado do Paraná há mais de 200 unidades em operação (BARBOZA, 2002). Esses dados confirmam a preferência por este modelo de reator.

### **3.2 Impacto ambiental**

O efluente gerado no processamento industrial do frango necessita ser tratado de forma que o impacto ambiental causado no corpo d'água que irá recebê-lo esteja dentro do previsto na legislação. Por impacto ambiental entende-se qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: (I) a saúde, a segurança e o bem-estar da população; (II) as atividades sociais e econômicas; (III) a biota; (IV) as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente, e (V) a qualidade dos recursos ambientais (CONAMA, 1986). A ABNT, através da norma NBR ISO 14.001, define impacto ambiental como qualquer mudança no ambiente, quer adversa ou benéfica, inteira ou parcialmente resultante das atividades, produtos ou serviços de uma organização (ABNT, 1996), complementando assim que o impacto pode ser benéfico também.

Os processos industriais constituem um dos maiores responsáveis pela poluição e contaminação das águas, quando lançados os efluentes sem o devido tratamento nos cursos naturais de água, causando uma série de danos ao meio ambiente e população. Dentre os principais despejos agroindustriais que necessitam de especial atenção para se evitar a poluição das águas estão os efluentes de frigoríficos (BRAILE & CAVALACANTI, 1993). “O lançamento indevido de efluentes de frigoríficos ocasiona modificações nas características da água e solo, podendo poluir ou contaminar o meio ambiente” (MEES, 2004). Nemerow (1977) destaca também os efeitos do efluente sobre o sistema de tratamento e tubulações quando estes não estão preparados para receber cargas fora do limite tolerado.

Esses impactos podem ser avaliados de acordo com parâmetros específico do efluente. Alguns exemplos de impactos desses parâmetros são descritos a seguir:

- Sólidos totais: aumentam a turbidez das águas podendo gerar maus odores, mortandade de peixes e inutilização das águas para recreação (NEMEROW, 1977).
- pH: altera a velocidade das reações de decomposição da matéria orgânica, prejudicando o tratamento. Um baixo pH pode causar corrosão nos dutos e valores de pH maiores que 9,5 aumentam o efeito de limpeza (NEMEROW, 1977).

- Temperatura: quando elevadas podem causar danos às espécies de peixes existentes no curso d'água, diminuição da solubilidade do oxigênio, estimulação das atividades biológicas resultando em consumo de oxigênio (BRAILE & CAVALACANTI, 1993).
- Compostos tóxicos: metais como cobre, chumbo, cromo e arsênio são tóxicos em concentrações variáveis. Muitas instalações de tratamento têm sido prejudicadas pela chegada desses íons, provocando a diminuição de atividade ou mesmo a morte de microrganismos (BRAILE & CAVALACANTI, 1993).
- Matéria orgânica: consome o oxigênio dos rios e cria odores e gostos desagradáveis, em geral, condições sépticas. Os peixes e a vida aquática morrem por falta de oxigênio (NEMEROW, 1977).

### **3.3 Legislação**

A legislação federal que fixa parâmetros para o lançamento de efluentes em cursos d'água é a Resolução CONAMA n° 430 de 2011, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes.

Já a legislação estadual, que dispõe sobre a fixação de padrões de emissão de efluentes líquidos para fontes de emissão que lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul, é a resolução CONSEMA (Conselho Estadual de Meio Ambiente) número 128 do ano de 2006. Para os parâmetros em que essa resolução é mais restritiva que a resolução CONAMA n° 430 deve-se cumprir a restrição.

Observa-se que a resolução CONSEMA 128 está integrada com a Política Nacional de Recursos Hídricos (lei 9.433/89) ao estabelecer que os comitês de bacias hidrográficas - já criados no estado - definem alguns parâmetros como a vazão de referência do corpo receptor.

A lei municipal aplicável é a de número 4293 que institui o Código de Meio Ambiente do município de Montenegro/RS, onde define (MONTENEGRO, 2005):

É proibida qualquer alteração das propriedades físicas, químicas ou biológicas do meio ambiente: solo, água, ar, flora e fauna, causada por qualquer forma de energia ou de substância sólida, doméstica, industrial, comercial ou agrosilvopastoril líquida ou

gasosa ou combinação de elementos, gerados por qualquer atividade a níveis capazes de:

I – prejudicar a saúde, a segurança e o bem estar da população;

II – criar condições adversas às atividades sociais e econômicas;

III – ocasionar danos relevantes à flora, à fauna, à paisagem e a outros recursos naturais.

Como não estão definidos os parâmetros para o lançamento de efluentes, valem os definidos pelas resoluções do CONAMA e CONSEMA, já comentadas.

### **3.4 Processos biológicos de tratamento**

Considerando a eficiência de processos anaeróbios no tratamento de efluentes da indústria de processamento de frango e tendência do uso de reatores UASB, descrevem-se a seguir os processos que envolvem os mesmos bem como suas características.

#### **3.4.1 Fundamentos**

Os tratamentos biológicos consistem em reproduzir, com o máximo de velocidade e eficiência, os processos naturais de degradação da matéria orgânica realizados por microrganismos presentes na água e no solo. Eles utilizam a aptidão dos microrganismos em transformar, direta ou indiretamente, os poluentes em compostos simples que podem ser reintegrados aos grandes ciclos biogeoquímicos, a fim de assegurar suas necessidades metabólicas (BIDONE, 2001). De acordo com Metcalf & Eddy (1991) o objetivo geral do tratamento biológico de efluentes industriais é remover ou reduzir a concentração de compostos orgânicos e inorgânicos. Os principais processos nesse tipo de tratamento são os aeróbios e anaeróbios. A seguir é feita uma breve descrição e comparação dos dois enfatizando-se, entretanto, o processo anaeróbio, foco do presente trabalho.

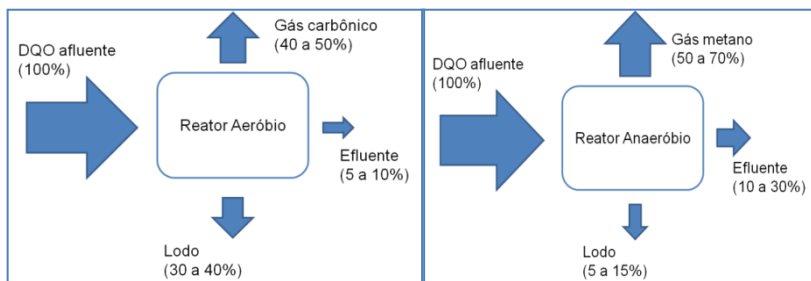
#### **3.4.2 Processos aeróbios e anaeróbios**

Nos processos aeróbios o oxigênio é oceptor de elétrons, ou seja, o responsável pela oxidação da matéria orgânica. No processo de oxidação da matéria orgânica em ambientes anaeróbios ocorrem os processos metabólicos de fermentação e respiração. Enquanto que, na fermentação, a oxidação da matéria orgânica é feita na ausência de umceptor final de elétrons, na respiração são utilizados aceptores de elétrons inorgânicos, como  $\text{NO}_3^-$  (redução de nitrato),  $\text{SO}_4^{2-}$  (redução de



sulfato), ou  $\text{CO}_2$  (formação de metano). Para a formação desse último, no entanto, é necessário que compostos como oxigênio, nitrato e sulfato não estejam prontamente disponíveis no ambiente. Caso contrário a preferência das rotas metabólicas de degradação da matéria orgânica é para os processos aeróbios, redução de nitrato e redução de sulfato, respectivamente (CHERNICHARO, 1997).

A degradação aeróbia leva a formação de biomassa na conversão bacteriana do material orgânico. Em contraste a digestão anaeróbia converte os poluentes em produtos finais gasosos, principalmente dióxido de carbono e metano que pode ser utilizado como fonte de energia (DITCHFIELD, 1986). Essa afirmação pode ser visualizada na figura 3, que apresenta um comparativo entre reatores aeróbios e anaeróbios no que diz respeito às entradas e saídas de DQO (demanda química de oxigênio) no sistema. A DQO é uma medida indireta da matéria orgânica de um efluente.



**Figura 3 - Balanço esquemático de DQO nos sistemas aeróbios e anaeróbios. Fonte: adaptado de Chernicharo (1997)**

O esquema mostra que, do total de matéria orgânica presente no despejo afluente, uma parte é convertida em emissões gasosas, outra parte decanta, compondo o lodo (biomassa microbiana) e a parte não degradada no reator sai do sistema junto com o efluente. Observa-se que grande parte da matéria orgânica é convertida em metano no reator anaeróbio (50 a 70%). Já no reator aeróbio, o percentual convertido em gás carbônico é de 40 a 50%. Aproximadamente 5 a 15% constituem o lodo excedente do sistema anaeróbio contra 30 a 40% no sistema aeróbio. Depreende-se da figura, em contrapartida, que a concentração de DQO do efluente no reator anaeróbio é maior do que a do reator aeróbio. Isso é um aspecto negativo dos reatores anaeróbios em relação

aos aeróbios e que leva a necessidade de um tratamento à jusante mais eficiente do que o que seria necessário a jusante do reator aeróbio.

### **3.4.3 Etapas da digestão anaeróbia**

Embora a digestão anaeróbia seja um processo bioquímico complexo, composto de várias reações sequenciais, cada um com sua população bacteriana específica, é um processo em que se pode distinguir 4 etapas: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese. CHERNICHARO, 1997 e CAMPOS, 1999 descrevem essas etapas da seguinte maneira:

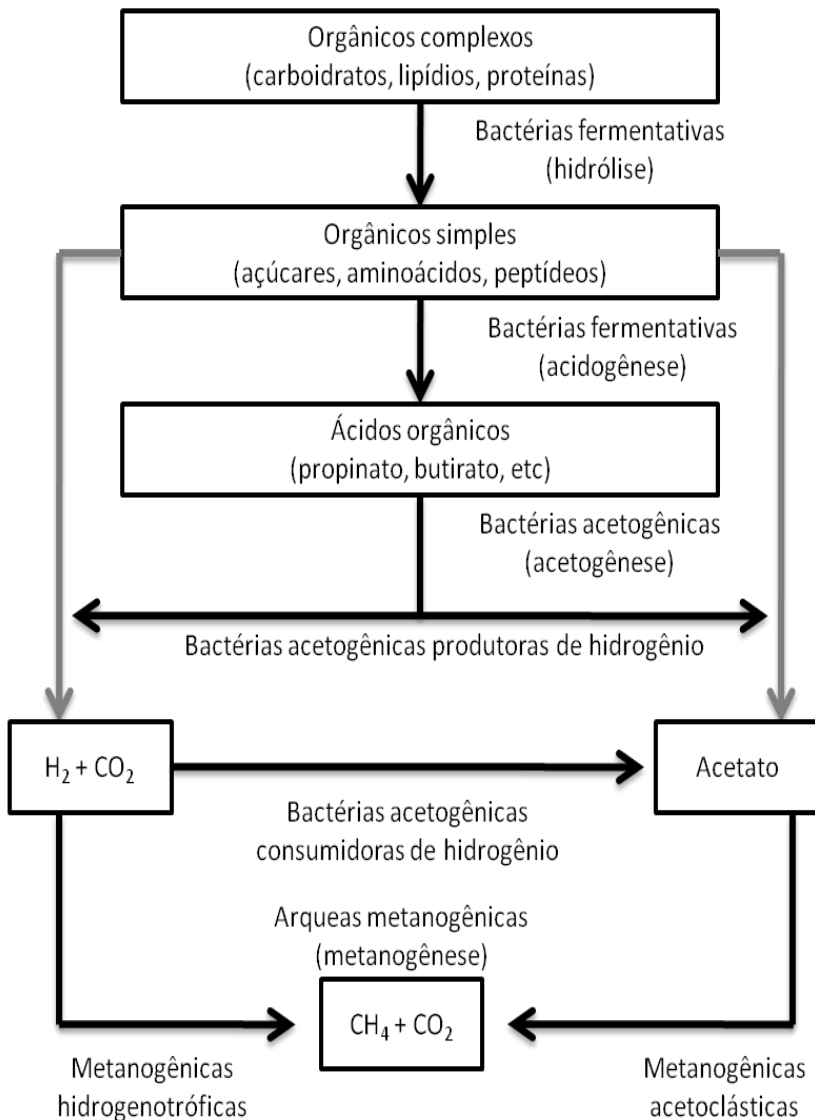
a) Hidrólise: Consiste na conversão de materiais particulados complexos (polímeros) em materiais dissolvidos mais simples (moléculas menores). Ocorre esse processo devido ao fato de os microrganismos não serem capazes de assimilar a matéria orgânica particulada. A conversão é conseguida através da ação de exoenzimas excretadas pelas bactérias fermentativas hidrolíticas.

b) Acidogênese: Os compostos hidrolisados na etapa anterior podem agora ser absorvidos pelas paredes celulares das bactérias fermentativas e são excretados como substâncias orgânicas simples como ácidos graxos voláteis de cadeia curta, alcoóis, ácido láctico e compostos minerais como  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , etc.

c) Acetogênese: É a conversão dos produtos da acidogênese em compostos que formam os substratos para a produção de metano: acetato, hidrogênio e dióxido de carbono.

d) Metanogênese: O metano é produzido a partir da redução do ácido acético e do dióxido de carbono pelas bactérias acetotróficas e hidrogenotróficas, respectivamente.

A figura 4 mostra uma representação esquemática dos vários processos que ocorrem na digestão anaeróbia.



**Figura 4 - Rotas metabólicas e grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia. Fonte: adaptado de Lettinga *et al.* (1996)**

Como observado, a digestão anaeróbia é um processo que envolve diferentes grupos de microrganismos que se interrelacionam e convivem em um ambiente onde o produto de uma etapa é o substrato para outra. Nesse ecossistema, o equilíbrio entre os grupos de microrganismos é fundamental para o sucesso da digestão anaeróbia. Portanto, para a otimização do processo, os fatores ambientais devem ser apropriados para todas as espécies participantes, sendo as Arqueas metanogênicas aquelas de maior exigência. Condições ambientais de pH em torno de 7, temperatura na faixa mesofílica e ambiente anaeróbio estrito, são condições tidas como ótimas para o processo (CHERNICHARO, 1997; METCALF&EDDY, 1991).

### 3.5 Biogás

Biogás é a denominação dada à mistura de gases produzida durante o processo de digestão anaeróbia descrito anteriormente. A produção de biogás ocorre naturalmente em pântanos, mangues, lagos e rios, como parte do ciclo biogeoquímico do carbono (ETCHEBEHERE E MENES, 2005). É composto por uma mistura de gases como metano, gás carbônico, e em menor quantidade, hidrogênio, nitrogênio, gás sulfídrico, monóxido de carbono, amônia, oxigênio e água. Dependendo da eficiência do processo, o biogás chega a conter entre 50% e 75% de metano, de 25% a 40% de dióxido de carbono e 5% de outros gases. A tabela 3 apresenta a composição média do biogás à pressão atmosférica.

**Tabela 3 - Composição média do biogás.**

<b>Componente</b>	<b>Teor em volume</b>
Metano (CH <sub>4</sub> )	50 a 75%
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	25 a 40%
Hidrogênio (H <sub>2</sub> )	1 a 3%
Nitrogênio (N <sub>2</sub> )	0,5 a 2,5%
Oxigênio (O <sub>2</sub> )	0,1 a 1%
Gás sulfídrico (H <sub>2</sub> S)	0,1 a 0,5%
Amônio (NH <sub>3</sub> )	0,1 a 0,5%
Monóxido de carbono (CO)	0 a 0,1%
Água (H <sub>2</sub> O)	Variável

Fonte: PIRES, 2000 apud PAULA JR., 2003

As principais características dos gases de maior interesse na formação do biogás são as seguintes (ANDREOLI et al., 2001; PAULA JR., 2003):

- Metano ( $\text{CH}_4$ ): inodoro, incolor e inflamável. O limite inferior de explosão (LIE) é a concentração mínima de metano necessária (5%) para fazer explodir uma mistura metano/ar exposta a uma fonte de ignição. O limite superior de explosão (LSE) é de 15%. A densidade relativa do metano é inferior à do ar (0,55), sendo facilmente dispersado. Não é tóxico, embora em concentrações elevadas possa reduzir a concentração de ar a níveis asfíxiantes.
- Gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ): inodoro, incolor e não inflamável. Densidade relativa superior à do ar (1,53), sendo asfíxiante em concentrações acima de 2%. O gás carbônico, em proporção significativa (25% a 40%), ocupa boa parte do volume útil e obriga, quando não suprimido, o aumento das capacidades de armazenamento.
- Gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ): incolor, inflamável e com cheiro característico de ovo podre. É irritante e asfíxiante, em concentrações superiores a 1% inibe o sistema olfativo e provoca inconsciência. Densidade relativa próxima ao ar (1,19), LIE de 4,3% e LSE de 43,5%. Além disso, o gás sulfídrico é corrosivo, atacando materiais como o cobre, o latão e o aço, dependendo de sua concentração.

O metano, o maior componente do biogás, é uma valorosa fonte de energia renovável, mas também um perigoso gás estufa em caso de emissão para atmosfera. O segundo componente mais abundante do biogás é o dióxido de carbono que, além de causar o efeito estufa, está relacionado atualmente com o aquecimento global (HANSEN, 2007). O biogás proveniente da digestão anaeróbia de resíduos sólidos ou líquidos constitui uma fonte de energia alternativa, bem como contribui em muito na solução dos problemas ambientais, pois, reduz potencialmente os impactos da fonte poluidora. Torna-se importante, portanto, o reaproveitamento energético desse gás tanto do ponto de vista econômico como do ecológico e social. Segundo o CENBIO (2001), de uma forma geral, a produção de energia elétrica a partir de biogás apresenta as seguintes vantagens:

Para a sociedade:

- Geração de empregos e eliminação ou redução de subempregos;

- Geração descentralizada e próxima aos pontos de carga, a partir de uma fonte renovável que vem sendo tratada como resíduo;
- Colaboração para a viabilidade econômica do saneamento básico.

Para as prefeituras:

- Possibilidade de receita extra, proveniente da energia gerada com biogás e vendida às concessionárias;
- Contribuição para a viabilidade econômica do tratamento do lixo;
- Menor rejeição social das instalações de saneamento, uma vez que elas passam a ser gerenciadas de forma melhor, representando um exemplo a ser seguido.

Para as estações de tratamento de esgotos, gerenciadoras de aterros e outras:

- Redução na quantidade de eletricidade comprada da concessionária;
- Possibilidade eventual de venda de eletricidade à rede;
- Possibilidade de uso de processos de cogeração, ou seja, a geração de eletricidade tem como subproduto calor, a ser usado no tratamento do esgoto, ou mesmo, ser vendido a terceiros.

Para o meio ambiente:

- Redução das emissões de metano para a atmosfera, pois este é um importante gás de efeito estufa. O seu potencial de aquecimento global é 20 vezes maior que o de CO<sub>2</sub>;
- Redução do consumo de combustíveis fósseis, principais responsáveis pelo efeito estufa;
- Redução na geração de odor para as vizinhanças, de chorume e de contaminação do lençol freático;
- Melhoria nas condições dos lixões, que representam mais de 70% da condição de disposição nacional do lixo.

As principais barreiras existentes são as seguintes:

Tecnológicas:

- Limpeza do gás;
- Necessidade de planta de demonstração no país.

Econômicas:

- Investimento elevado dependendo da fonte de biogás;
- A análise econômica convencional desconsidera benefícios ambientais (emissões de metano – saneamento).

O potencial energético do biogás está em função da quantidade de metano contida no gás que determina o seu poder calorífico. O poder calorífico do biogás é variável estando na faixa de 22.500 a 25.000 kJ/m<sup>3</sup>, admitindo o metano com cerca de 35.800 kJ/m<sup>3</sup>. Isto significa um aproveitamento de 6,25 a 10 kWh/m<sup>3</sup> (JORDÃO et al., 1995). Sua potencialidade é demonstrada quando tratado, pois a presença de substâncias não combustíveis no biogás, como a água e o dióxido de carbono prejudica o processo de queima, tornando-o menos eficiente. Estas substâncias absorvem parte de energia gerada (SALOMON, 2007).

O biogás, após seco e tratado, dependendo da composição e vazão, pode ser aproveitado em motores de combustão interna, na distribuição em rede após tratamentos adequados, na alimentação de caldeiras e na geração de energia elétrica em estações de tratamentos. Em alguns casos, seu aproveitamento não se mostra adequado sob os aspectos técnicos, econômicos e ambientais, então este, muitas vezes, é queimado em flares ou tratado antes de descartado na atmosfera através de biofiltração, adsorção em carvão ativado, absorção química (lavadores) ou oxidação térmica. A tabela 4 mostra a equivalência energética de 1 m<sup>3</sup> de biogás com outras fontes.

**Tabela 4 - Equivalência energética entre 1 m<sup>3</sup> de Biogás e outras fontes energéticas.**

<b>Fonte</b>	<b>Faixa</b>	<b>Fonte</b>	<b>Faixa</b>
Gasolina (litros)	0,61 - 0,70	Álcool (litros)	0,80
Querosene (litros)	0,58 - 0,62	Carvão mineral (kg)	0,74
Óleo diesel (litros)	0,55	Lenha (kg)	3,5
GLP (kg)	0,40 - 1,43	Elettricidade (kWh)	1,25 - 1,43

Fonte: Adaptado de Pompermayer (2000).

### **3.6 UASB**

Conforme exposto no item 3.1.4 (Processos de tratamento utilizados) e visando a valorização energética do biogás, adotou-se como alternativa de tratamento para o efluente em estudo o reator UASB, descrito a seguir.

#### **3.6.1 Introdução**

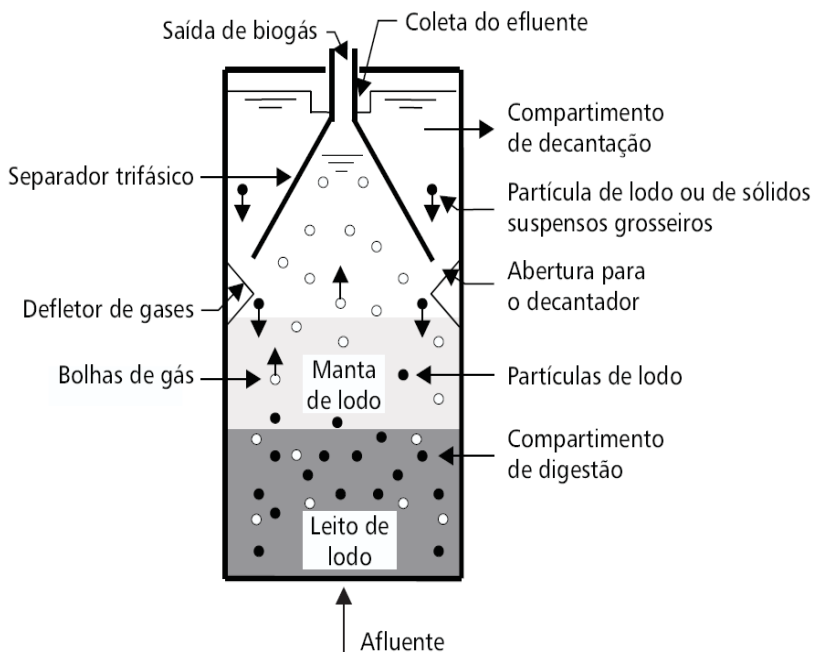
Um exemplo de reator onde ocorrem processos anaeróbios e consequente formação de biogás é o UASB. A versão mais aperfeiçoada dos reatores tipo UASB (sigla do inglês Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactors) teve sua origem na Holanda, na década de 70, após trabalhos desenvolvidos pela equipe do professor Gatzke Lettinga, na Universidade de Wageningen. Na tradução para o português, os mesmos deveriam ser denominados de Reatores Anaeróbios de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo. Mas não é o que acontece e várias nomenclaturas diferentes têm sido criadas. Seguindo a orientação dos trabalhos coordenados por Campos (1999), esse tipo de reator será aqui denominado de Reator UASB.

#### **3.6.2 Princípio de funcionamento**

Os reatores UASB são reatores anaeróbios com crescimento bacteriano disperso, sem meio de suporte, onde a biomassa é dotada de boa qualidade de sedimentação, baixo índice volumétrico de lodo, boa resistência física e satisfatória atividade metanogênica específica. É constituído por um separador de fases que divide o reator em duas partes: uma inferior, a zona de digestão, onde se encontra uma manta de lodo responsável pela digestão anaeróbia; e uma superior, a zona de sedimentação (VAN HAANDEL & LETTINGA, 1984). As águas residuais entram pelo fundo do reator, seguem um movimento ascendente dentro do reator, atravessam a zona de digestão, passam uma abertura existente no separador de fases, alcançando a zona de sedimentação. Na zona de digestão ocorre a mistura entre o material orgânico presente na água residual e o lodo anaeróbio da zona de digestão, resultando na produção de biogás e no crescimento da biomassa bacteriana. O biogás segue o movimento ascendente com o líquido, após este superar a camada de lodo, em direção ao separador de fases. No separador de fases, a área disponível para o escoamento ascendente do líquido deve ser de tal forma que o líquido, ao se aproximar da superfície líquida livre, tenha sua velocidade



progressivamente reduzida, de modo a ser superada pela velocidade de sedimentação das partículas, oriundas dos flocos de lodo arrastados pelas condições hidráulicas ou flotados. Isto possibilita que este material sólido que passa pelas aberturas no separador de fases, alcançando a zona superior do reator, possa se sedimentar sobre a superfície inclinada do separador de fases. Esta condição dependerá das condições hidráulicas do escoamento. Assim, o acúmulo sucessivo de sólidos irá aumentar continuamente o peso desse material o qual, tornar-se-á maior que a força de atrito e, então, deslizarão, voltando para a zona de digestão, na parte inferior do reator. Desse modo, a presença de uma zona de sedimentação acima do separador de fases resulta na retenção do lodo, permitindo a presença de uma grande massa na zona de digestão, enquanto se descarrega um efluente substancialmente livre de sólidos sedimentáveis (VAN HAANDEL & LETTINGA, 1984). A figura 5 demonstra as partes para o funcionamento do reator.



**Figura 5 - Desenho esquemático de um reator UASB. Fonte: Campos (1996)**

### **3.6.3 Vantagens e desvantagens**

Qualquer tipo de tratamento, para que seja viabilizado, necessita passar por uma análise de suas vantagens e desvantagens. Isso auxiliará na escolha do projeto e trará respaldo técnico que justifique a escolha. Chernicharo (1997) apresenta essa análise para os reatores UASB.

O processo anaeróbico por meio de reatores de manta de lodo apresenta inúmeras vantagens em relação aos processos aeróbios convencionais, notadamente quando aplicado em locais de clima quente, como é o caso da maioria dos municípios brasileiros. Nessas situações, pode-se esperar um sistema com as seguintes características principais:

- Sistema compacto, com baixa demanda de área;
- Baixo custo de implantação e operação;
- Baixa produção de lodo;
- Baixo consumo de energia (apenas para a elevatória de chegada, quando for o caso);
- Satisfatória eficiência de remoção de DQO e de DBO, da ordem de 65% a 75%;
- Possibilidade de rápido reinício, mesmo após longas paralisações;
- Elevada concentração de lodo excedente;
- Boa desidratabilidade do lodo.

Embora os reatores UASB incluam amplas vantagens, principalmente no que diz respeito a requisitos de área, simplicidade e baixos custos de projeto, implantação, operação e manutenção, algumas desvantagens ainda são atribuídas aos mesmos:

- Possibilidade de emissão de maus odores;
- Baixa capacidade do sistema em tolerar cargas tóxicas;
- Elevado intervalo de tempo necessário para a partida do sistema;
- Necessidade de uma etapa de pós-tratamento.

Chernicharo (1997) ressalta, porém, que quando bem projetado, construído e operado, o sistema não deve apresentar problemas de mau cheiro e de falhas devido à presença de elementos tóxicos e/ou inibidores. Estudos têm sido feitos no sentido de reduzir os impactos dos aspectos negativos de reatores UASB. Belli et al (2001), por exemplo, apresentam alternativas de tratamento de odores em sistemas de esgoto sanitário enquanto que Chernicharo & Borges (1996) criaram

metodologia para diminuir o período de partida dos sistemas e de minimizar os problemas operacionais nessa fase.

#### **3.6.4 Projeto de reator UASB**

Quanto ao projeto de reatores de manta de lodo, este é bastante simples, não demandando a implantação de qualquer equipamento sofisticado ou de meios suporte para a retenção de biomassa. Apesar do conhecimento acumulado sobre os reatores UASB no Brasil, não há ainda roteiro claro e sistematizado, acessível aos projetistas, sobre o dimensionamento desses reatores para tratamento de efluentes industriais específicos (CAMPOS, 1999). É reconhecida a importância de que os diversos parâmetros de projeto de reatores UASB sejam expressos de uma forma compreensível e sequencial, permitindo o dimensionamento das câmaras de reação, decantação e captura de gás.

### **3.7 Mudanças Climáticas**

Os gases que compõem o biogás, gerado no tratamento anaeróbio de efluentes (UASB, por exemplo), contribuem para o aumento do aquecimento global quando liberados para atmosfera. Nos últimos anos cientistas verificaram que a concentração desses e a de outros gases têm aumentado. Esse aumento tem intensificado o efeito estufa, que é um fenômeno natural pelo qual parte da radiação solar que chega à superfície da Terra é retida nas camadas baixas da atmosfera, proporcionando a manutenção de temperaturas numa faixa adequada para permitir a vida de milhares de espécies no planeta. Entretanto, devido ao aumento da concentração de gases causadores do efeito estufa (GEE) na atmosfera, tem ocorrido uma maior retenção dessa radiação na forma de calor, e conseqüentemente, a temperatura média no planeta está aumentando, provocando o aquecimento global e significativas mudanças climáticas.

Em decorrência dessas alterações, têm ocorrido expressivas mudanças globais do clima, envolvendo inclusive alterações nos ciclos hidrológicos do planeta. Essas alterações já são perceptíveis e muito danosas para a humanidade e para inúmeras espécies vegetais e animais no planeta. A tabela 5 apresenta os principais GEE de origem antrópica e suas principais fontes.

**Tabela 5 - Principais GEE e suas fontes.**

<b>GEE</b>	<b>PRINCIPAIS FONTES/CAUSAS</b>
<b>CO<sub>2</sub></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Queima de combustíveis fósseis em veículos, processos industriais, aquecimento de edifícios, etc.</li> <li>- Queima de resíduos diversos e também do biogás gerado pela decomposição dos mesmos em aterros, visando evitar explosões.</li> <li>- Queima de biomassa vegetal decorrente de incêndios florestais ou de práticas agrícolas como a “queimada da cana de açúcar” visando facilitar sua colheita.</li> <li>- Redução das áreas florestais, onde normalmente ocorre o sequestro e estocagem de carbono atmosférico na biomassa vegetal.</li> </ul>
<b>CH<sub>4</sub></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Disposição de resíduos orgânicos em aterros e lixões, sem o devido sistema de captação e destruição ou uso energético do biogás gerado.</li> <li>- Cultivo de arroz em áreas inundadas, bem como áreas de pântanos, onde a escassez de oxigênio dissolvido na água, ocasiona a degradação anaeróbica da matéria orgânica, gerando metano.</li> <li>- Tratamento ou manejo anaeróbico dos dejetos de animais (ex: suínos, frangos, bois) criados em sistema de confinamento, ou mesmo de esgotos sanitários, onde ocorre a geração e emissões atmosféricas de biogás.</li> <li>- Processo digestivo de animais ruminantes (ex: bois e cabras) pois durante o processo de ruminação é produzido e liberado metano.</li> <li>- Exploração de jazidas de carvão mineral, petróleo e gás natural.</li> </ul>
<b>N<sub>2</sub>O</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Uso de fertilizantes nitrogenados em atividades agrícolas.</li> <li>- Queima de combustíveis fósseis em veículos, processos industriais, aquecimento de edificações, etc.</li> </ul>
<b>CFCs, HFCs, PFCs, SF<sub>6</sub></b>	Produção de substâncias refrigerantes para uso em equipamentos e processos industriais.

Fonte: Adaptado de (ICLEI, 2010).

Em 1988 aconteceu a primeira reunião entre governantes e cientistas sobre as mudanças climáticas, realizado em Toronto, Canadá, que descreveu o impacto nas mudanças climáticas como potencial inferior apenas ao de uma guerra nuclear.

Cientes da gravidade e urgência da situação climática do planeta, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e a Organização Meteorológica Mundial (OMM) criaram o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, em inglês), que reúne cientistas e governantes do mundo todo para analisar dados científicos sobre as mudanças climáticas e fornecer subsídios técnicos e informações confiáveis sobre o tema (CENAMO, 2004).

Em 1990 foi feito, pelo IPCC, o primeiro informe com base na colaboração científica de nível internacional, na qual os cientistas advertiram que para estabilizar os crescentes níveis de CO<sub>2</sub>, seria necessário reduzir as emissões em 60% comparadas às de 1990.

Em 1992, mais de 160 governos assinaram a Convenção-quadro das Nações Unidas sobre mudanças climáticas (CQNUMC) na Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, conhecida como ECO-92, no Rio de Janeiro.

O objetivo final da Convenção e de quaisquer instrumentos jurídicos com ela relacionados que adote a Conferência das Partes (países signatários da CQNUMC) é o de alcançar, em conformidade com as disposições pertinentes desta Convenção, a estabilização das concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera num nível que impeça uma interferência antrópica perigosa no sistema climático. Esse nível deverá ser alcançado num prazo suficiente que permita aos ecossistemas adaptarem-se naturalmente à mudança do clima, que assegure que a produção de alimentos não seja ameaçada e que permita ao desenvolvimento econômico prosseguir de maneira sustentável. (UNFCCC, 1992 apud CENAMO, 2004).

### ***3.7.1 Protocolo de Quioto e MDL***

Nesse sentido, o protocolo de Quioto, acordo internacional discutido e negociado na cidade japonesa de Quioto em 1997, é considerado um avanço importantíssimo na redução dos GEE e consequente redução do aquecimento global. Nele os países signatários se comprometem a, até 2012, diminuir suas emissões de GEE em 5,2% em relação aos níveis de 1990. Entrou em vigor em 16 de fevereiro de 2005, e foi ratificado por 36 países do grupo dos mais ricos do planeta, listados no Anexo I do documento (os países desenvolvidos

e responsáveis por 80% da poluição histórica mundial). Os mecanismos adicionais de implementação, bem como, o Protocolo de Quioto, mais especificamente, o MDL, necessitavam de regulamentação complementar sendo objeto dos Acordos de Marraqueche, firmados em novembro de 2001, durante a 7<sup>a</sup>. Sessão da Conferência das Partes da Convenção, ou simplesmente COP-7.

O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) foi criado a partir do Protocolo de Quioto, dentro do princípio de que o mercado poderia auxiliar no processo de redução das emissões de gases de efeito estufa através dos Créditos de Carbono. Visa auxiliar os países do Anexo I no cumprimento de suas metas de redução de GEE no âmbito dos chamados mecanismos de flexibilidade. A proposta do MDL consiste em que cada tonelada de CO<sub>2</sub> deixada de ser emitida ou retirada da atmosfera por um país em desenvolvimento poderá ser negociada no mercado mundial, criando um novo atrativo para a redução das emissões globais (CENAMO, 2004).

Inicialmente, o MDL foi pensado como uma cooperação entre uma Parte Anexo I e outra Não Anexo I, onde ambas seriam beneficiadas, uma vez que a Parte Anexo I teria a possibilidade de cumprir parte das suas metas de reduções de emissões com custos reduzidos, e a Parte Não Anexo I receberia investimentos adicionais que, de alguma forma, contribuiriam com o desenvolvimento sustentável local. Partindo dessa premissa, o Protocolo de Quioto sacramentou o MDL.

Assim, o MDL foi concebido originalmente com a intenção de necessariamente envolver no mínimo dois atores, um Anexo I e outro Não Anexo I. Ocorre que, por várias razões, entre elas a demora para entrada em vigor do Protocolo de Quioto e o anseio dos empresários de países Não Anexo I, a CQNUMC foi pressionada para permitir a elaboração de projetos de MDL envolvendo apenas um participante. Assim, surgiu o MDL unilateral, que envolve apenas participantes de Partes Não Anexo I. Nesse caso, o projeto de MDL é desenvolvido sem qualquer apoio tecnológico e financeiro de Partes Anexo I.

O maior número de projetos se concentra na área de geração elétrica (energia renovável), abrangendo 47% do número de projetos aprovados no Brasil, seguido por projetos na Suinocultura (17%) e troca de combustível fóssil (12%) (IPEA, 2011).

A energia elétrica gerada por fonte renovável e que pode ser disponibilizada à venda, evita a geração por outras fontes para atender a demanda nacional, o que consequentemente gera créditos de carbono

pelo deslocamento do uso de algum combustível não renovável na geração de energia elétrica.

Os projetos de MDL de pequena escala surgiram a partir da percepção de que os custos de procedimento envolvidos no desenvolvimento de uma atividade de MDL de grande escala inviabilizariam sua aplicação em uma série de empresas de menor porte. Assim, visando reduzir os custos transacionais, alguns procedimentos foram simplificados, criando os seguintes tipos de projetos:

(a) Atividades de projetos do tipo I: atividades de projetos de energia renovável com uma capacidade máxima de produção de 15 MW (ou um equivalente adequado);

(b) Atividades de projetos do tipo II: atividades de projetos de melhoria da eficiência energética que reduzam o consumo de energia, no lado da oferta e/ou da demanda, em até o máximo de 60 GWh por ano (ou um equivalente adequado);

(c) Atividades de projetos do tipo III: outras atividades de projetos que resultem em reduções de emissão inferiores ou equivalentes a 60 kt de equivalentes de CO<sub>2</sub> anualmente.

Cabe ressaltar, segundo Rosa (2007) que, conforme preconiza o artigo 12 do Protocolo de Quioto, o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo tem por objetivo auxiliar na promoção do desenvolvimento sustentável dos Países hospedeiros das atividades de projeto. Desta forma, é importante observar a efetiva contribuição das atividades de projeto à promoção do desenvolvimento sustentável para que o MDL não se transforme apenas em um instrumento do mercado internacional, cujo foco de atenção fique somente na obtenção de lucros com o comércio dos créditos de carbono gerados e onde qualquer alteração profunda nas posturas sociais seja deixada em segundo plano. O autor conclui que esses projetos não apresentam contribuição significativa ao desenvolvimento sustentável.

## **4. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **4.1 Descrição do local**

O trabalho foi desenvolvido em parceria com a unidade da empresa Doux Frangosul do município de Montenegro, estado do Rio Grande do Sul. O grupo Doux é o primeiro produtor europeu de aves e de produtos elaborados à base de aves. É um dos líderes mundiais de exportação neste setor. Está presente em todos os segmentos do mercado das aves (frango, peru, pato, galinha de angola), desde os produtos frescos e congelados, inteiros ou em cortes, até os produtos elaborados (empanados, pratos cozidos, filés marinados de aves, produtos de snacking, embutidos de aves). Suas fábricas se dedicam a cada uma dessas produções: fábricas de congelados, fábricas de aves frescas e fábricas de embutidos/produtos elaborados. O grupo é o 1º produtor europeu de aves e de embutidos à base de aves; líder mundial na exportação de aves e de embutidos; mais de 10.300 colaboradores em todo o mundo; mais de 4.300 criadores parceiros em todo o mundo; volume de negócios de 1,309 bilhões de euros em 2009; produtos comercializados em 130 países, nos 5 continentes; implantações industriais na Europa e no Brasil. Possuem 17 abatedouros de aves e plataformas de expedição; 6 fábricas de produtos embutidos; 13 incubatórios e 10 fábricas de rações (DOUX, 2011).

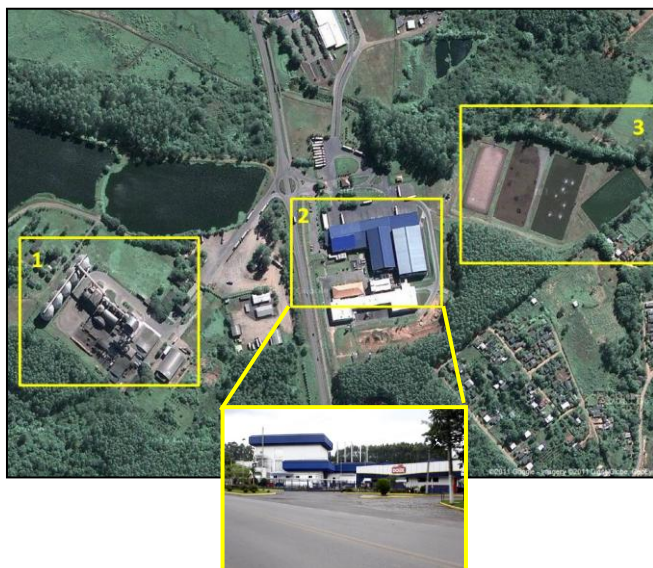
Uma dessas implantações é a de Montenegro. Criado em 1955, no Oeste da França, o Grupo Doux adquiriu em 1998 a Frangosul, empresa brasileira criada em 1970 em Montenegro/RS, dando assim origem à filial Doux Frangosul. A unidade possui 2.027 funcionários e abate 468.000 frangos por dia.

A Doux Frangosul é responsável por cerca de 80% das exportações de Montenegro. A cidade localiza-se a 29°41'19" de latitude sul e 51°27'40" de longitude oeste, a uma altitude de 31 metros. De acordo com o Censo 2010, sua população é de 59.415 habitantes (IBGE, 2010). Possui uma área de 424,013 km². A figura 6 apresenta a localização do município de Montenegro e a figura 7 a imagem de satélite da localização da unidade Doux Frangosul em Montenegro.





**Figura 6 - Localização do município de Montenegro, estado do Rio Grande do Sul (no detalhe do mapa do Brasil)**



**Figura 7 - Localização da unidade Doux em Montenegro/RS.**  
**1) Fábrica de rações. 2) Instalações. 3) Lagoas de estabilização (ETE).** Fonte: Google Earth e acervo pessoal.

## **4.2 Coleta de dados**

A empresa se comprometeu a fornecer os dados necessários ao desenvolvimento do trabalho como: caracterização do efluente bruto, layouts e fluxogramas de produção e de tratamento, consumo de energia elétrica da indústria, número de funcionários, número de frangos abatidos, volume de água utilizado no processo industrial, entre outros.

Os dados foram obtidos através de aplicação de questionários, reuniões, visita no local e documentos fornecidos por email pela empresa.

A visita foi realizada no dia 21 de outubro de 2011 e teve como objetivo o conhecimento visual das instalações industriais e do sistema de tratamento do efluente, o registro fotográfico, reunião para esclarecimento das atividades, identificação de oportunidades de melhoria no processo e tratamento.

Devido à política interna da empresa, não foi possível adentrar nos processos produtivos (abate, frigorífico, embutidos e fábrica de rações). Sendo assim, fez-se uma descrição com base nos fluxogramas e dados disponibilizados, focando o trabalho mais nas características do efluente e do processo de tratamento.

As estimativas de custos do sistema a ser implantado foram levantadas através de pesquisa bibliográfica, consulta a empresas fornecedoras de materiais e serviços assim como dados de projetos similares.

## **4.3 Descrição do processo industrial**

O processo industrial da Doux Frangosul abrange desde o abate do frango, passando pelo armazenamento em frigorífico, processamento dos subprodutos e processamento para comercialização. São abatidos, como já citado, cerca de 468.000 frangos por dia. O volume de água por frango abatido é aproximadamente 10,44 litros/frango.

A água utilizada nessas etapas é fornecida através do tratamento em uma estação de tratamento de água da própria unidade com vazão de 500 m<sup>3</sup>/dia. Essa água é captada de um curso d'água próximo

A seguir é descrito sucintamente o processo de abate e de processamento dos subprodutos da Doux Frangosul.

#### 4.3.1 Processo de abate

O processo de abate é similar ao descrito no item 3.1.2. O frango vindo da granja é recepcionado passando posteriormente pelos processos de pendura, sangria, escalda, depenadeira, evisceração, limpeza e resfriamento. Após isso, seguem para a divisão entre frangos inteiros e em corte, prosseguindo para a embalagem, resfriamento/congelamento, estocagem e expedição, conforme demonstrado na figura 8.

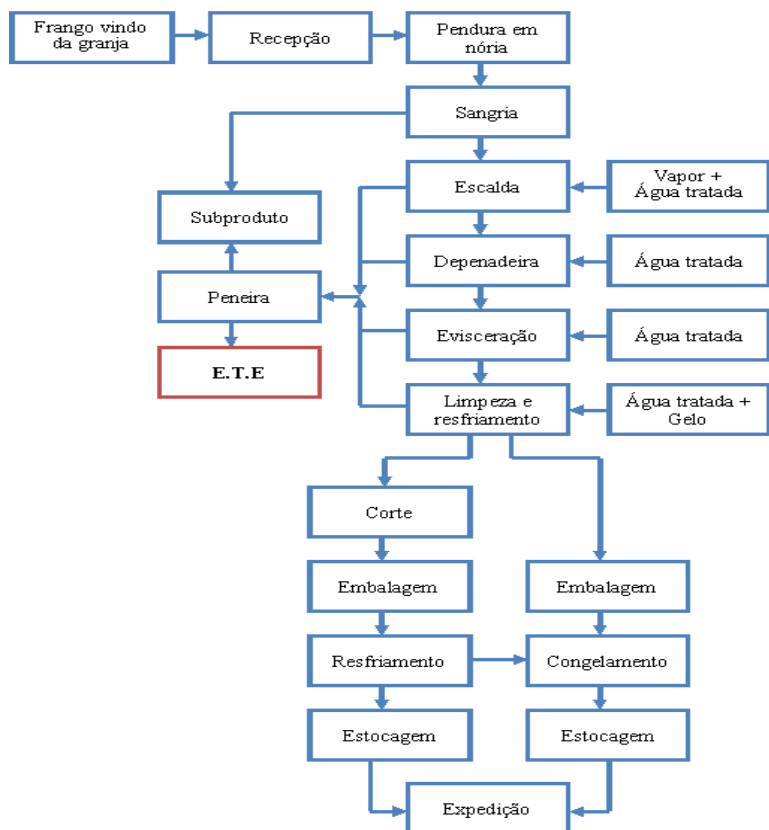


Figura 8 - Fluxograma do processo de abate da Doux Frangosul.

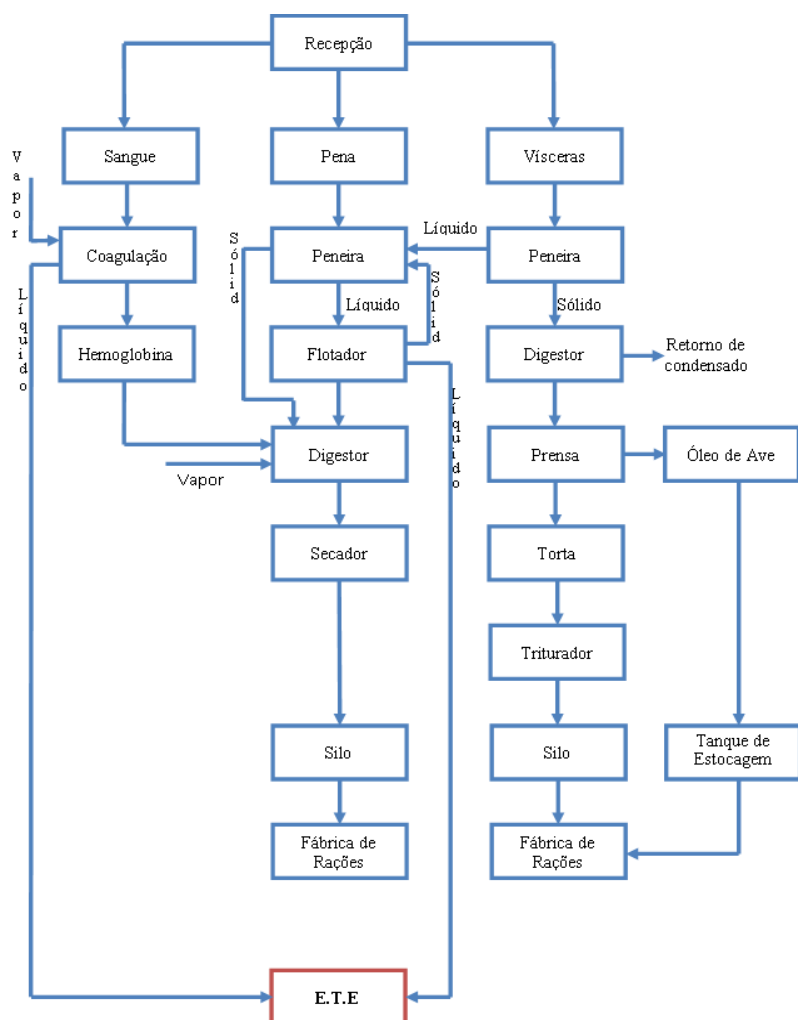
Os efluentes gerados na sangria seguem para o processamento de subprodutos, assim como os despejos da escalda, depenadeira, evisceração, limpeza e resfriamento, que passam antes pela peneira. A parte líquida é direcionada ao tratamento.

#### ***4.3.2 Processamento de subprodutos***

Como abordado, os subprodutos ou resíduos do abate correspondem a todos os produtos que não sejam pronta ou diretamente destinados ao consumo e uso humanos (BRAILE, 1993).

O sangue é encaminhado para a coagulação de onde é aproveitada a hemoglobina, encaminhada a um digestor. Esse digestor recebe os efluentes contendo penas, que antes passam pela peneira e flotador. Do digestor seguem para o secador, silo e fábrica de rações.

As vísceras acompanham a seguinte sequência: peneira, digestor, prensa (de onde é retirado o óleo de ave), torta, triturador, silo e fábrica de rações. A figura 9 apresenta os fluxos do processamento de subprodutos da Doux Frangosul.



**Figura 9 - Fluxograma de processamento de subprodutos da Doux Frangosul.**

## 4.4 Descrição do tratamento de efluentes

Após a exposição do panorama geral do processo industrial da Doux Frangosul, é apresentado o sistema de tratamento do efluente oriundo desse processo.

### 4.4.1 Etapas preliminares

Antes, porém, de serem encaminhados a estação de tratamento de efluentes (ETE), os efluentes segregados em cada etapa passam por procedimentos preliminares.

Os efluentes da recepção de aves, lavagem de caminhões e veículos passam por uma caixa de areia, em seguida por uma peneira e depois ao flotador.

Ao flotador é direcionado também os efluentes do refeitório, que passam por uma caixa de gordura, dos hidrossanitários, que passam por uma fossa séptica, e finalmente do processo industrial. Prossegue então para a caixa coletora antes de seguir para a ETE. A figura 10 demonstra esses caminhos.

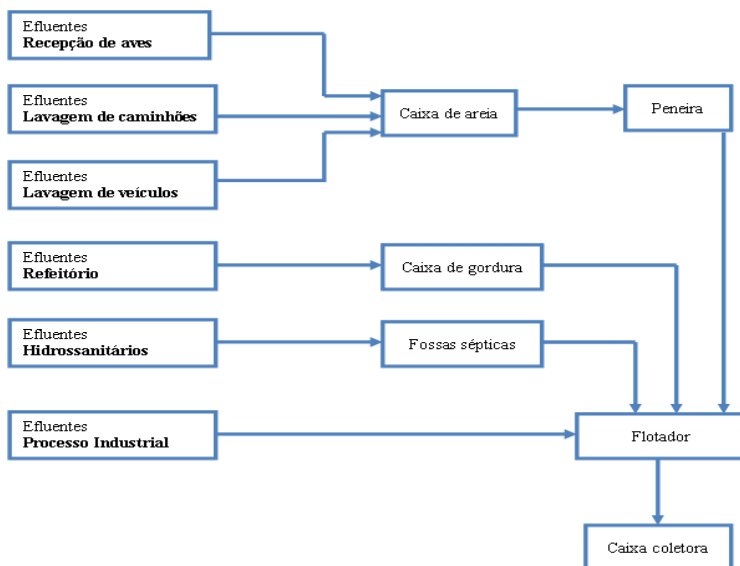


Figura 10 - Fluxograma dos procedimentos preliminares de tratamento.

Observa-se que o flotador (figura 11) está inoperante, servindo apenas como uma caixa de passagem para o efluente da unidade industrial.



**Figura 11 - Flotador inoperante da Doux**

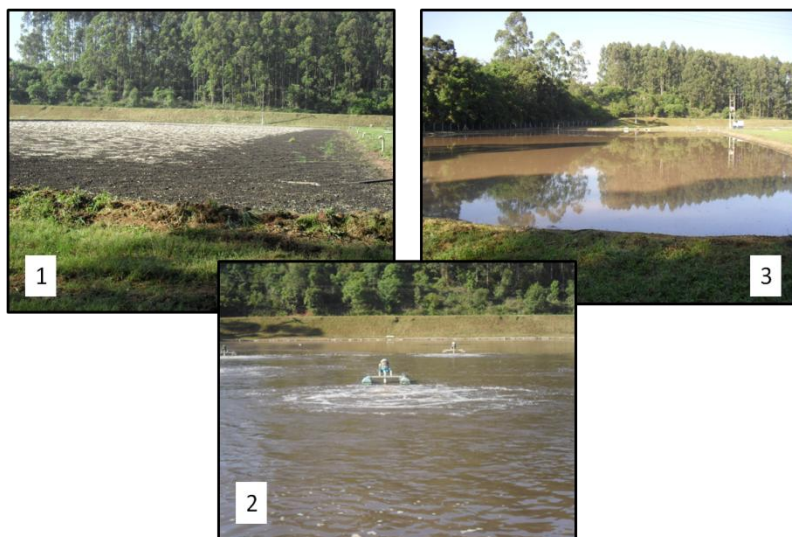
#### ***4.4.2 Estação de tratamento de efluentes***

Na caixa coletora o despejo de toda a unidade industrial é misturado, através do fluxo afluente, antes de seguir para a ETE. A montante da ETE há uma peneira seguida de um medidor de vazão tipo Parshall (figura 12)



**Figura 12 - Medidor de vazão (calha Parshall) e peneira a montante da ETE.**

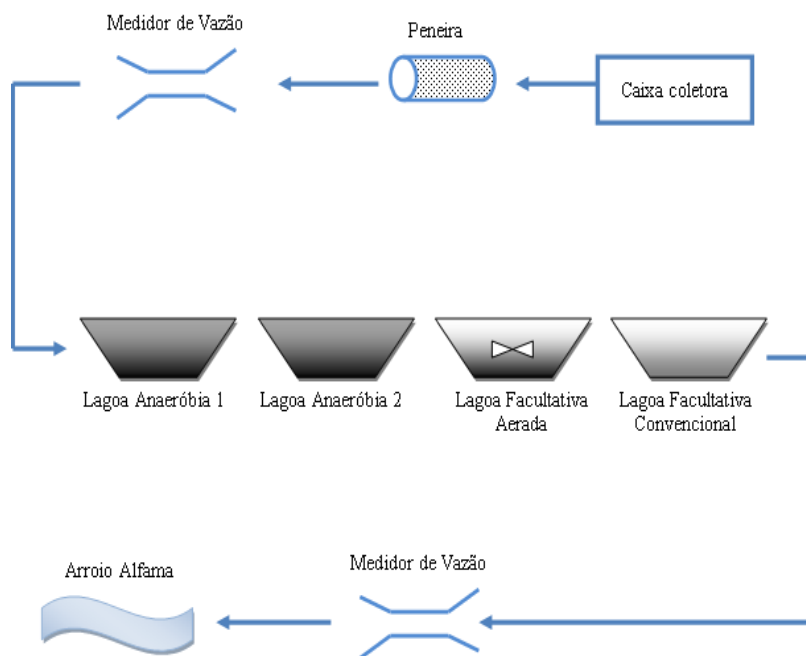
O efluente segue então para a ETE que consiste em um sistema de lagoas de estabilização em série constituído de duas lagoas anaeróbias, uma lagoa facultativa aerada e uma lagoa facultativa convencional. Seus volumes são, respectivamente, 12.000 m<sup>3</sup>, 22.500 m<sup>3</sup>, 9.000 m<sup>3</sup> e 9.000 m<sup>3</sup>. Foi informado pela engenheira responsável que a lagoa facultativa convencional era uma lagoa de polimento e, por motivos técnicos, tornou-se esse tipo de lagoa após um aprofundamento da mesma. A figura 13 mostra as lagoas.



**Figura 13 - Lagoas de estabilização Doux: 1) Lagoa anaeróbia 1. 2) Lagoa facultativa aerada. 3) Lagoa facultativa convencional**



O efluente tratado passa por um medidor de vazão tipo parshall (similar ao de entrada) e então é lançado no corpo d'água, denominado Arroio Alfama. A figura 14 ilustra um esquema da ETE.



**Figura 14 - Fluxograma da ETE Dour Frangosul**

Os resíduos retirados do peneiramento são enviados à Cooperativa dos Citricultores Ecológicos do Vale do Café (Ecocitrus), que recebe outros tipos de resíduos orgânicos da Dour.

## 4.5 Caracterização do efluente industrial

A caracterização qualitativa e quantitativa do efluente é feita através de coleta e análises laboratoriais de amostras do efluente de alguns pontos da ETE. Considerou-se, para o presente trabalho, a análise feita em amostras retiradas do flotador, pois diz respeito ao efluente bruto que é encaminhado a ETE, passando antes apenas pelo peneiramento de partículas grosseiras. É com base nesses dados que será dimensionado o reator UASB com vistas à valorização energética do biogás nele gerado.

Os parâmetros de análise bem como seus resultados são apresentados na tabela 6 a seguir.

**Tabela 6 - Resultados de parâmetros de análise do efluente da Doux.**

<b>Parâmetro</b>	<b>Unidade</b>	<b>Resultado</b>
<b>Vazão</b>	m <sup>3</sup> /dia	7.000
<b>Coliformes Termotolerantes</b>	NMP/100mL	9,2x10 <sup>9</sup>
<b>DBO<sub>5</sub></b>	mg DBO <sub>5</sub> /L	950
<b>DQO</b>	mg O <sub>2</sub> /L	2.733
<b>pH</b>	-	6,04
<b>Fósforo Total</b>	mg P/L	24,007
<b>Nitrogênio Total Kjeldhal</b>	mg N/L	184
<b>Nitrogênio Amoniacal</b>	mg N/L	15
<b>Óleos e graxas totais</b>	mg OG/L	1.570
<b>Sólidos Sedimentáveis</b>	mg SD/L	13
<b>Sólidos Suspensos</b>	mg SS/L	1.080

## 4.6 Dimensionamento do Reator UASB

Visando o aproveitamento energético potencial do biogás, dimensionaram-se os principais parâmetros de um reator tipo UASB.

Uma ampla revisão de considerações de projeto para reatores UASB foi fornecida por Lettinga (1996). Segundo o autor, considerações importantes sobre o projeto são: 1) características do efluente em termos de composição e teor de sólidos, 2) carga orgânica volumétrica, 3) a velocidade de fluxo ascendente, 4) de volume do reator, 5) as características físicas, incluindo o sistema de distribuição de afluente e 6) do sistema de coleta de gás. Esses dois últimos não serão

abordados no dimensionamento por se tratarem de elementos que não influenciarão diretamente no cálculo da área do reator e na produção de biogás.

Com base nessas considerações, foi dimensionado o reator UASB com vistas à valorização energética do biogás nele gerado. Essa abordagem diz respeito à potencialidade do tratamento do efluente, através de suas características, em gerar energia.

#### **4.6.1 Carga orgânica Volumétrica**

Define-se carga orgânica volumétrica (COV) como a quantidade (massa) de matéria orgânica aplicada diariamente ao reator, por unidade de volume do mesmo:

$$L_{org} = \frac{Q \cdot S_o}{V}$$

**Equação 1: Carga orgânica volumétrica**

na qual:

$L_{org}$  : carga orgânica volumétrica (kgDQO/m<sup>3</sup>.d);

$Q$  : vazão (m<sup>3</sup>/d);

$S_o$  : concentração de substrato afluente (kgDQO/m<sup>3</sup>);

$V$  : volume total do reator (m<sup>3</sup>).

Para efluentes industriais com elevadas concentrações de matéria orgânica (DQO >1000 mg/L), a carga orgânica volumétrica a ser aplicada é que define o volume do reator. Dessa forma, o volume do reator pode ser calculado através da equação 1 rearranjada como a seguir (CHERNICHARO, 1997):

$$V = \frac{Q \cdot S_o}{L_{org}}$$

**Equação 2: Volume do reator**

Lettinga (1996) recomenda valores de COV entre 4,0 e 8,0 kgDQO/m<sup>3</sup>.d para lodo floculento. Adotou-se o valor de 6,0 kgDQO/m<sup>3</sup>.d.

#### **4.6.2 Velocidade superficial de fluxo**

A velocidade superficial de fluxo, ou velocidade ascensional, é calculada a partir da relação entre a vazão afluente e a seção transversal do reator (área do reator vista em planta), como a seguir:

$$v = \frac{Q}{A}$$

**Equação 3: velocidade ascensional**

na qual:

$v$  : velocidade superficial de fluxo (m/h);

$Q$  : Vazão (m<sup>3</sup>/h);

$A$  : área da seção transversal do reator (m<sup>2</sup>).

A velocidade superficial máxima no reator depende do tipo de lodo presente e das cargas aplicadas. Para reatores operando com COV entre 5,0 e 6,0 kgDQO/m<sup>3</sup>.d, as velocidades superficiais médias devem ser da ordem de 0,5 a 0,7 m/h, podendo chegar a 1,0 m/h (METCALF&EDDY,1991 e CHERNICHARO, 1997). O valor adotado foi de 0,8 m/h.

#### **4.6.3 Estimativa de concentração de DQO efluente**

A partir da eficiência esperada, pode-se estimar a concentração de DQO no efluente final, como a seguir:

$$S = S_o - \frac{E \cdot S_o}{100}$$

**Equação 4: Estimativa da DQO efluente**

na qual:

$S$  : concentração de DQO efluente (mg/L);

$S_o$  : concentração de DQO afluente (mg/L);

$E$  : eficiência de remoção de DQO (%).

Adotou-se, considerando a legislação e para efeitos de cálculo, uma eficiência de 80%.

#### **4.6.4 Produção de biogás**

A avaliação da produção de biogás pode ser feita a partir do balanço de DQO no reator, que é feito da seguinte maneira:

$$DQO_{entrada} = DQO_{saída} + DQO_{SSV} + DQO_{CH_4}$$

**Equação 5: Balanço de DQO (1)**

na qual: (valores em g/dia)

$DQO_{entrada}$  : carga de DQO Afluente;  
 $DQO_{saida}$  : carga de DQO Efluente;  
 $DQO_{SSV}$  : parte da  $DQO_{entrada}$  convertida em biomassa;  
 $DQO_{CH_4}$  : parte da  $DQO_{entrada}$  convertida em metano.

Colocando a expressão em função da  $DQO_{CH_4}$ :

$$DQO_{CH_4} = DQO_{entrada} - DQO_{saida} - DQO_{SSV}$$

**Equação 6: Balanço de DQO (2)**

onde:

$$DQO_{SSV} = 1,42 \cdot Y \cdot \frac{E}{100} \cdot DQO_{entrada}$$

**Equação 7: DQO convertida em biomassa**

na qual:

1,42 gDQO/gSSV = concentração de DQO no tecido celular (Metcalf, 1991);

Y = coeficiente de produção de biomassa (igual à 0,06 gSSV/gDQO para compostos orgânicos) (Metcalf, 1991);

Após obter a estimativa da massa de metano, pode-se calcular seu volume sabendo, pela lei dos gases ideais, que cada mol de metano ocupa um volume de (considerando a temperatura do reator de 25°C):

$$V = (1 \text{ mol}) \left( 0,082057 \frac{\text{atm. L}}{\text{mol. K}} \right) [(273,15 + 25)K] = 24,47L$$

Dividindo-se esse valor pela massa de DQO em 1 mol de  $CH_4$  (64 gDQO/mol  $CH_4$ ), obtêm-se o valor de 0,38 L  $CH_4$ /gDQO. Esse valor multiplicado pela  $DQO_{CH_4}$  resultará no volume de metano produzido por dia.

Por fim, ao se considerar que 65% do biogás é formado por metano (Metcalf&Eddy, 1991), estima-se o volume de biogás gerado no reator.

#### **4.6.5 Produção de lodo**

A estimativa da produção de lodo em reatores UASB pode ser feita através da seguinte equação:

$$P_{lodo} = Y \cdot CO_{DQO}$$

**Equação 8: Produção de lodo**

na qual:

$P_{lodo}$  : produção de sólidos no sistema (kgSST/d);

$Y$  : coeficiente de sólidos no sistema  
(0,1 kgSST/kgDQO<sub>aplicada</sub>)(Metcalf&Eddy, 1991);

$CO_{DQO}$  : carga de DQO aplicada ao sistema (kgDQO/dia).

A avaliação da produção volumétrica de lodo pode ser feita a partir da seguinte equação:

$$V_{lodo} = \frac{P_{lodo}}{\gamma \cdot C_{lodo}}$$

**Equação 9: produção volumétrica de lodo**

na qual:

$V_{lodo}$  : produção volumétrica de lodo (m<sup>3</sup>/d);

$\gamma$  : massa específica do lodo (1040 kg/m<sup>3</sup>, adotado por Chernicharo, 1997);

$C_{lodo}$  : concentração do lodo (em torno de 4% (Metcalf&Eddy, 1991)).

## **4.7 Estimativas de créditos de carbono**

No âmbito de projetos MDL são diversas alternativas para redução de emissões de GEE na unidade industrial Montenegro da DOUX com vistas a venda no mercado de créditos de carbono. Propõe-se a utilização das metodologias do IPCC para cálculo de emissões associadas ao tratamento anaeróbio do efluente.

Serão calculadas as emissões da linha de base, ou seja, aquelas emitidas considerando um ano de liberação de metano no tratamento anaeróbio. Em seguida, serão quantificados os créditos de carbono advindos da não emissão ou redução desse gás a partir da valorização energética do biogás.

### **4.7.1 Emissão no tratamento anaeróbio**

Para quantificar as emissões de GEE proveniente do tratamento anaeróbio dos efluentes gerados e tratados pelas lagoas de estabilização é utilizada a metodologia AMS III.H, aprovada pelo Conselho Executivo do MDL para a determinação da linha de base. Dessa forma,

a quantificação da emissão de GEE a partir do tratamento anaeróbio de efluentes é obtida pela equação:

$$ET_{ww,y} = QT_{ww,y} \cdot DQO \cdot B_O \cdot MCF_{final} \cdot GWP$$

**Equação 10 - Emissão de GEE no tratamento de efluentes**

Onde:

$ET_{ww,y}$ : emissão total do tratamento de águas residuais no ano y ( $tCO_2e$ );

$QT_{waste,y}$ : volume de águas residuais tratadas no ano y ( $m^3$ );

DQO: demanda química de oxigênio das águas residuais tratadas no ano y ( $t/m^3$ );

$B_O$ : capacidade de produção de metano das águas ( $0,25 \text{ kg CH}_4/\text{kgDQO}$  (IPCC, 2006));

$MCF_{final}$ : fator de correção do metano com base no tipo de tratamento e via de descarga das águas residuais (0,8 para lagoa anaeróbia);

GWP: potencial de aquecimento global; para metano = 21 (IPCC, 2006).

## 4.8 Estimativa de custos e receitas

Os custos estimados foram baseados na proposta de construção do UASB e geração de energia através do biogás por ele gerado. As receitas provêm dos créditos de carbono gerados e da economia de energia elétrica e combustíveis.

### 4.8.1 Construção e operação do UASB

Segundo Chernicharo (1997), o custo médio de construção de um reator UASB é de US\$ 25 por habitante e o de operação na faixa de US\$ 1,0 por habitante por ano.

Para calcular o número de habitantes equivalente para se ter a mesma carga do efluente da Doux, basta dividir a carga do efluente da indústria ( $6.650,0 \text{ kgDBO/d}$ ) pela carga média de DQO gerada por uma pessoa ( $0,06 \text{ kgDBO/hab.d}$ ), obtendo-se o valor de aproximadamente 110.833 habitantes.

Para a conversão para a moeda corrente do Brasil (Real), utilizou-se a taxa de câmbio de 1,813 R\$/US\$.

Outra forma de se estimar o custo da construção do UASB é através do preço do concreto armado, já que o reator é construído em grande parte por esse material.

Segundo SINTRUT - PINI o preço do metro cúbico de concreto armado na região do Vale do Caí é de R\$ 1.198,94. Na composição dos preços inclui-se: material e mão-de-obra, inclusive taxas de leis sociais e riscos do trabalho e BDI - benefício e despesas indiretas da firma empreiteira. Ferramentas e equipamentos necessários à execução dos serviços, bem como a movimentação de materiais dentro da obra são por conta da firma empreiteira.

A tabela 9 mostra os valores da composição do metro cúbico de concreto armado:

**Tabela 7 - Composição do Valor do Metro Cúbico de Concreto Armado para Vale do Caí/RS**

R\$ 193,06	Concreto Fck 15 Mpa preparado com betoneira
R\$ 400,70	Armadura CA-50 - 100 Kg/m <sup>3</sup> de concreto
R\$ 517,26	Fôrmas de chapa de madeira compensada - 12 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> de concreto
R\$ 5,24	Andaimes
R\$ 56,51	Lançamento e aplicação do concreto

#### **4.8.2 Consumo de Energia**

Os dados de fornecimento e consumo de energia elétrica da Doux são apresentados na tabela abaixo:

**Tabela 7 - Dados de fornecimento e consumo de Energia elétrica**

Tensão de fornecimento (kV)	24 kV
Demanda (kW)	8.350 kW
Consumo médio mensal	3.500.000 kWh
Preço médio da energia elétrica	R\$ 0,25/ kWh

#### **4.8.3 Geração de energia elétrica**

Por meio do volume de biogás gerado e coletado no reator UASB, pode-se estimar a produção de energia elétrica. Para isso propõe-se a utilização de grupo de geradores que funcionam a biogás (figura 15). As tabelas abaixo mostram as principais características do equipamento.

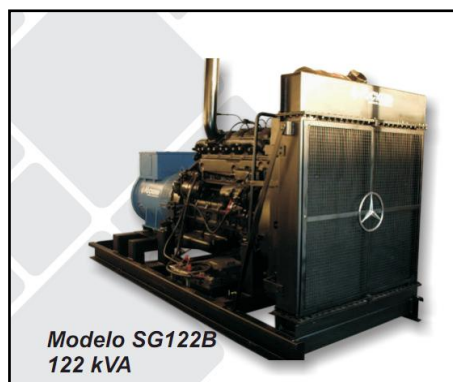


**Tabela 8 - Principais características do grupo gerador (1)**

<b>Modelo</b>	<b>Contínuo</b>		<b>Motor</b>			
	kVA	kW	Marca	Modelo	cv	Cilind.
SG122B	122	98	Mercedes	OM447	160	6

**Tabela 9 - Principais características do grupo gerador (2)**

<b>Consumo</b>	<b>Peso</b>	<b>Dimensões (mm)</b>		
m <sup>3</sup> /h	kg	Comprimento	Largura	Altura
55	2120	3000	1000	1900



**Figura 15: Grupo gerador a biogás**

O custo médio de equipamentos como este é de R\$ 440,00/kW (Souza *et al*, 2004).

#### **4.8.4 Créditos de carbono**

Em termos de receitas, os créditos de carbono podem gerar aproximadamente US\$ 10,00/ tCO<sub>2</sub>e, de acordo com estudos do ICLEI (2010). Na prática, projetos de geração de energia elétrica a partir de biomassa já vem sendo financiados e até patrocinados por grandes empresas, bancos e fundações. No presente trabalho se utilizará do valor do crédito de carbono citado.

#### 4.8.5 Método Payback (PB)

*Payback* quer dizer retorno do investimento, ou seja, quanto tempo será necessário para que o capital investido inicialmente seja recuperado. O *Payback* pode ser calculado conforme a expressão:

$$PB = \frac{C_i}{\sum FC_{ano}}$$

**Equação 11: Método Payback**

Onde:

$C_i$ : Custo do investimento inicial, em R\$;

$FC_{ano}$ : Fluxo de caixa ao ano, em R\$;

Para o investidor, que leva em consideração apenas o tempo mínimo possível na recuperação do capital, este é um ótimo método. No entanto, o payback não considera o valor do dinheiro no tempo e, além disso, o método não considera as entradas de fluxo de caixa após a recuperação do investimento.

Normalmente este método é utilizado para calcular o retorno de pequenos projetos, pois é um método simples de avaliação de investimento.

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A partir do exposto, buscou-se avaliar o processo industrial e o tratamento do efluente gerado na Doux, dimensionar o reator tipo UASB visando a melhoria da eficiência do tratamento e valorização energética do biogás e estimar valores financeiros associados a isso.

### **5.1 Avaliação do processo industrial e tratamento**

Ao se avaliar os fluxogramas do processo industrial e de tratamento de efluentes, observam-se algumas questões importantes. De acordo com a tabela 2, o efluente do processo de abate está dentro da faixa dos parâmetros analisados, em especial os de volume por ave e  $\text{DBO}_5/1000$  aves.

A Doux consome 10,44 litros de água por cada um dos 468.000 frangos abatidos diariamente, gerando, nesse processo, 70% da vazão do efluente da unidade industrial. Considerando essa porcentagem, deve-se rever o destino dos efluentes dos outros processos, pois têm vazão e carga orgânica menores, aplicando outro tipo de tratamento. Ou seja, deixar o tratamento anaeróbio atual somente para os despejos do processo de abate e avaliar as características dos despejos de cada unidade com o objetivo propor um tratamento adequado. Dessa forma, o tratamento do efluente de abate poderia contar com unidades menores e mais eficientes.

Pode-se, por exemplo, reaproveitar ou infiltrar no solo os despejos provenientes dos refeitórios e hidrossanitários, por exemplo, pois já passaram por caixa de gordura e tanque séptico, respectivamente.

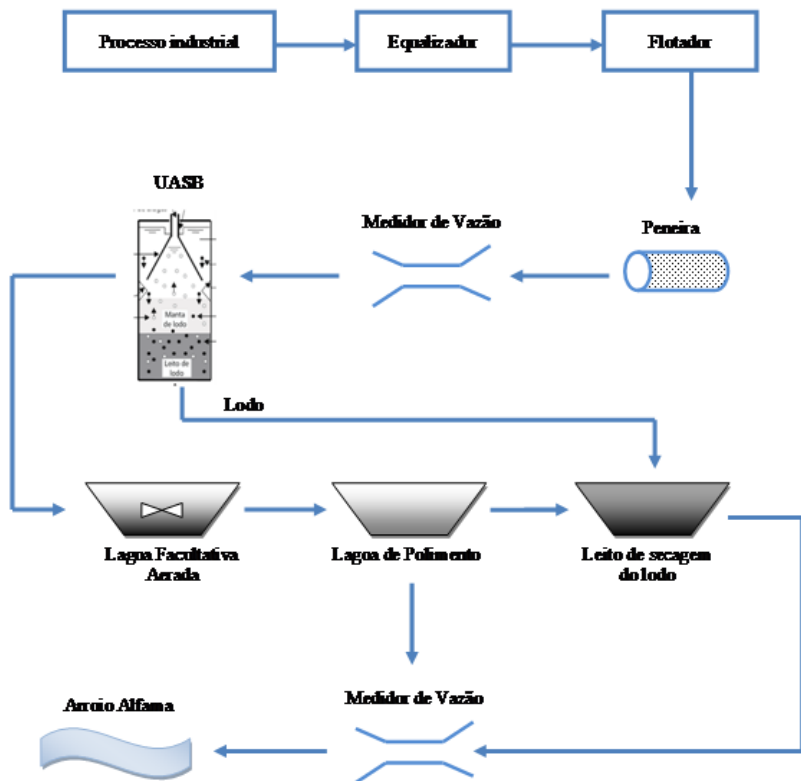
Recomenda-se que o flotor inoperante seja ativado para evitar que óleos e graxas prossigam para o tratamento anaeróbio. Óleos e graxas prejudicam a eficiência do reator, reduzindo a atividade anaeróbia (Braile & Cavalcanti, 1993; Metcalf & Eddy, 1991; Chernicharo, 1997). Com esses componentes, o reator terá reduzida eficiência, funcionando apenas como uma caixa de passagem.

Para aumentar a eficiência do reator UASB, recomenda-se também um equalizador a montante do reator, com o fim de evitar picos de vazão que podem prejudicar a operação das unidades a jusante, como o UASB (Chernicharo, 1997).

Sendo assim, o reator atingirá a eficiência esperada (80%) e as lagoas de estabilização podem ter a função de tratamento secundário e de polimento. Uma opção é utilizar a lagoa facultativa como unidade

posterior ao UASB e em seguida uma lagoa de polimento, como proposto por Campos (1999). As áreas das lagoas restantes podem ser destinadas ao leito de secagem do lodo do UASB.

A figura 16, a seguir, apresenta essas considerações.



**Figura 16 - Readequação do layout de tratamento**

## 5.2 Dimensionamento do UASB

A partir dos resultados das equações de 1 à 9, chegou-se a tabela 10, com os principais parâmetros hidráulicos e a tabela 11 com os parâmetros de eficiência do reator UASB. Adotou-se o número de 2 reatores, que deverão operar em paralelo, sendo que a tabela 10 se refere aos valores de cada reator e a tabela 11 à valores globais, considerando os dois reatores em conjunto.

**Tabela 10 - Principais parâmetros hidráulicos de cada reator UASB**

<b>Principais parâmetros hidráulicos (para cada reator)</b>	
<b>Vazão</b>	7.000 m <sup>3</sup> /d
<b>Volume</b>	1.667,25 m <sup>3</sup>
<b>Área</b>	185,25 m <sup>2</sup>
<b>Comprimento</b>	19,5 m
<b>Largura</b>	9,5 m
<b>Altura</b>	9 m
<b>Velocidade ascensional</b>	0,79 m/h
<b>Carga Orgânica Volumétrica</b>	5,74 kgDQO/m <sup>3</sup> .d
<b>Tempo de detenção hidráulico</b>	11,43 h

**Tabela 11 - Principais parâmetros de eficiência global (UASB)**

<b>Principais parâmetros de eficiência global</b>	
<b>Eficiência remoção DQO</b>	80%
<b>DQO afluente</b>	2.733 mgDQO/L
<b>DQO efluente</b>	546,6 mgDQO/L
<b>Produção de metano</b>	5.353,13 m <sup>3</sup> /d
<b>Produção de biogás</b>	8.235,58 m <sup>3</sup> /d
<b>Produção de lodo</b>	45,988 m <sup>3</sup> /d

### **5.3 Créditos de carbono**

Através da metodologia AMS III.H, aprovada pelo Conselho Executivo do MDL para a determinação da linha de base obteve-se um valor de 36.659,779 tCO<sub>2</sub>e por ano. Considerando a posterior construção e operação do reator UASB com aproveitamento energético do biogás, serão obtidas reduções de emissão na ordem de 21 vezes. Esse é o valor do potencial de aquecimento global do metano em relação ao CO<sub>2</sub>.

O volume de emissão anual após a valorização energética do biogás será de 1.745,704 tCO<sub>2</sub>e, resultando em uma diferença de 34.914,075 tCO<sub>2</sub>e. Há, então, a possibilidade de venda dessa redução no Mercado de carbono ao valor de US\$ 10,00/tCO<sub>2</sub>e, resultando num total de R\$ 632.992,18 por ano em créditos de carbono.

### **5.4 Custos e receitas**

A seguir são descritos os custos e as receitas associadas à construção e operação do UASB, ao consumo de energia e a geração de energia a partir do biogás. Com base nisso será elaborado um balanço financeiro para avaliar sua viabilidade.

#### ***5.4.1 Construção e operação do UASB***

Utilizando-se o custo do metro cúbico de concreto armado de R\$ 1.198,94 e as dimensões dos reatores, obtém-se um custo de R\$ 507.072,79 para a construção dos reatores. Esse valor é muito inferior ao custo total do reator e reflete que outros parâmetros são mais caros na construção como sistemas de coleta de gás, escavação do terreno e a gestão do projeto.

Para os valores mínimos definido por Chernicharo (1997) (US\$ 10/hab.) e considerando uma população equivalente de 110.833 habitantes, o custo dos reatores será de R\$ 2.009.402,29. O valor mínimo foi utilizado pois se aproximava mais dos valores praticados no mercado atualmente.

Dados de custos fornecidos pelo mesmo autor para a operação de reatores UASB (US\$ 1,0/hab./ano), resultam em um custo anual de R\$ 200.940,23.

#### ***5.4.2 Consumo de energia elétrica***

Com base no consumo médio mensal de energia elétrica (3.500.000 kWh) e no custo de fornecimento da energia (R\$ 0,25/kWh),

resulta-se um custo mensal de R\$ 875.000,00 e anual de R\$ 10.500.000,00.

### 5.4.3 Geração de energia

A energia gerada pelo biogás produzido no reator UASB é obtida por meio da multiplicação do volume de biogás produzido diariamente (8.235,58 m<sup>3</sup>/d) pela energia gerada através de 1 m<sup>3</sup> de biogás (6,5 kWh). Porém existe uma perda muito grande associada à eficiência do grupo gerador à biogás.

Considerando o grupo gerador SG122B, da figura 15, e que seu consumo é de 55 m<sup>3</sup>/h, tem-se que em um dia ele consumirá 1.320 m<sup>3</sup> de biogás para uma potência de 98 kW. Para utilizar o volume total de biogás gerado no UASB, é necessário uma quantidade de 6 grupos geradores desse modelo, consumindo um total 7.920 m<sup>3</sup>/d de biogás, com um potencial instalado de 588 kW e gerando continuamente 423.360 kWh/mês, cerca de 12% do valor total consumido.

Essa energia pode ser utilizada nas operações da Doux, economizando um total de R\$ 105.840,00 mensais em energia da rede de abastecimento externa.

O custo dos grupos geradores é aproximadamente R\$ 440,00/kW. Para o potencial instalado de 588 kW esse custo chega a R\$ 258.720,00.

## 5.5 Balanço financeiro

A tabela 12 apresenta os dados sistematizados de custos e receitas relativas a valorização de biogás gerada no tratamento do efluente da Doux Frangosul.

**Tabela 12 - Custos e despesas: valorização energética biogás**

Custos fixos	
Construção UASB	R\$ 2.009.402,29
Grupos Geradores	R\$ 258.720,00
Custos variáveis (por ano)	
Operação UASB	R\$ 200.940,23
Receitas variáveis (por ano)	
Créditos de carbono	R\$ 632.992,18
Economia Energia Elétrica	R\$ 1.270.080,00

Utilizando o método *Payback*, obtém-se um período de retorno de investimento relativamente baixo, de acordo com o grupo DOUX: 1,33 anos ou 1 ano e 4 meses. Essa é uma estimativa superficial da ordem de grandeza dos valores. Algumas outras variáveis poderiam ser incluídas, mas que tornaria a pesquisa muito mais longa.

Porém já se pode observar que é um investimento com retorno em curto prazo e que traz benefícios à imagem da empresa por contribuir com a redução do aquecimento global.



## 6. CONCLUSÃO

Verificou-se que há viabilidade técnica e econômico-financeira da utilização do reator tipo UASB para tratamento das águas residuárias da unidade Dour Frangosul em Montenegro. Estima-se ainda que ele vá melhorar a eficiência do tratamento se tomadas as medidas recomendadas.

O investimento em geração de energia elétrica através do biogás produzido no UASB é rentável. Quando convertido em energia elétrica, as vantagens da utilização do biogás estão relacionadas às emissões evitadas pela geração de energia elétrica utilizando uma fonte renovável, à eficiência dos sistemas de conversão, aos créditos de carbono proporcionados e a economia de energia.

Adotou-se dois reatores com volume de 1.667,25 m<sup>3</sup>, área de 185,25 m<sup>2</sup> e altura de 9,0 m cada. Será produzido um volume diário de biogás igual a 8.235,58 m<sup>3</sup>/d, que irá suprir aproximadamente 12% da demanda de energia elétrica da unidade propiciando R\$ 632.992,18 por ano em créditos de carbono e uma economia de R\$ 1.270.080,00 de gastos com energia elétrica por ano.

Dessa maneira, o investimento inicial gasto na construção do reator UASB e na aquisição dos grupos geradores à biogás terá um retorno em aproximadamente 1 ano e 4 meses.

Tratou-se de um estudo preliminar por não terem sido consideradas questões como custo de operação dos grupos geradores, demais partes da metodologia MDL, avaliação da viabilidade do uso do biogás como fonte de energia térmica. Essas questões podem ser avaliadas em outro trabalho. No entanto, o presente trabalho demonstrou a potencialidade do uso da tecnologia estudada.

Em um país com tantas possibilidades de se utilizar fontes renováveis de energia, como o biogás, observa-se que é um desperdício tantas organizações não aproveitarem esse potencial que, além de gerar economia, traz benefícios para o meio ambiente.

## REFERÊNCIAS

- ABEF. Associação Brasileira dos Produtores e Exportadores de Frango. Relatório Anual, São Paulo, 2010.
- ABNT. NBR 9.800. Critérios para lançamento de efluentes líquidos industriais no sistema coletor público de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1987. 3 p.
- ABNT. NBR ISO 14.001 Sistemas de gestão ambiental - Diretrizes gerais sobre princípios, sistemas e técnicas de apoio. Rio de Janeiro, 1996. 32 p.
- ANDREOLI, C.V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Lodo de esgotos - tratamento e disposição final. DESA-UFGM, v. 6, 483 p., 2001.
- BARBOZA, M. G.; AMORIM, E. L. C., Tratamento anaeróbio de esgotos através de reatores do tipo UASB. Slides de aula. GTR/CTEC/UFAL, 2002. Disponível em <http://www.ctec.ufal.br/professor/elca/Reatores%20UASB%20v2.pdf>
- BELLI FILHO, P.; COSTA, R. H. R.; GONÇALVES, R. F.; CORAUCCI FILHO, B., LISBOA, H. M. (2001). Tratamento de odores em sistemas de esgotos sanitários. In: CHERNICHARO, A. L. (Coordenador). Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios, Capítulo 8 - 455-490. FINEP/PROSAB, Belo Horizonte, 544p.
- BIDONE, A. R. Resíduos sólidos provenientes de coletas especiais: eliminação e valorização. Rio de Janeiro: Rima, ABES, 2001, 240p.
- BRAILE, P. M; CAVALCANTI, J. E. W. A. Manual de tratamento de águas residuárias, São Paulo: CETESB, 1993.
- CAMPOS, J. R. (coordenador), Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo. Rio de Janeiro : ABES, 1999. 464 p.: il. Projeto PROSAB

CENAMO, M. C. Mudanças Climáticas, o Protocolo de Quioto e Mercado de Carbono. CEPEA. 2004.

CENBIO – Centro Nacional de Referência em Biomassa, Nota Técnica Vii, 2001. Disponível em <[www.cenbio.com.br](http://www.cenbio.com.br)>. Acesso em 2 de outubro de 2011.

CETESB (2003). Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental & SMA-SP – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS - Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. Relatório técnico n. 2 do convênio SMA/MCT n. 01.0053.00/2001 – Efluentes. Disponível em [www.mct.gov.br/CLIMA/brasil/pdf/Efluente\\_preliminar.pdf](http://www.mct.gov.br/CLIMA/brasil/pdf/Efluente_preliminar.pdf). Acesso em: 20/06/2011.

CHERNICHARO, C. A. L. Reatores Anaeróbios. 2ª. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 1997. 380p.

CHERNICHARO, C. A. L.; BORGES, J. M. (1996). Metodologia utilizada durante a partida de um reator UASB de 477 m<sup>3</sup> tratando esgotos tipicamente domésticos. In: Anais do XXV Congresso Interamericano de Ingenieria Sanitaria y Ambiental, Tomo I - Vol. 2, 655-661, México, DF.

COGO, 2004. Tendências do Mercado de Grãos e Carnes. I Seminário ELANCO de Avicultura. Campinas, SP. 2004.

CONAMA. Resolução CONAMA nº 1. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. 1º. de janeiro de 1986.

CONAMA. Resolução CONAMA nº 430. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. 13 de maio de 2011.

CONSEMA. RESOLUÇÃO CONSEMA N ° 128/2006 Dispõe sobre a fixação de Padrões de Emissão de Efluentes Líquidos para fontes de emissão que lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul. 24 de novembro de 2006.

DA SILVA, H. L. B. Uso de Membranas Microporosas no Tratamento de Efluentes de um Frigorífico de Abate de Aves. Dissertação de Mestrado. Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis: UFSC, 2005. p. 81.

DOUX - site do Grupo Doux. 2011. Disponível em: [www.doux.com](http://www.doux.com). Acessado em 11/05/2011.

EBERT, D. C. Simulação da Dinâmica Operacional de um Processo Industrial de Abate de Aves. Dissertação de Mestrado. Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel : s.n., 2007. p. 64.

ETCHEBEHERE, C.; MENES, R. J. Processos anaeróbios de tratamento de matéria orgânica. In: V Curso de tratamento biológico de resíduos. 18 a 30 de abril, Florianópolis, PROSUL, CNPq - UFSC/DELAR/UNLP, 2005.

FERNANDES, M. A. Avaliação de desempenho de um frigorífico avícola quanto aos princípios da produção sustentável. Dissertação de Mestrado Departamento de Administração, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre : s.n., 2004.

GIORDANO, G. Tratamento e Controle de Efluentes Industriais. Disponível em: <http://www.eng.uerj.br/pos/pesquisa.htm#topo>>. Acesso em: 12 nov. 2011.

GOMES, I. Impacto Ambiental. Belo Horizonte, 2002. Disponível em: [sites.uol.com.br/ivairr/impacto.htm](http://sites.uol.com.br/ivairr/impacto.htm)>. Acesso em : jun. 2002.

GRYSHECK, J.M.; BELO, F.R. Produção e uso do gás metano na agricultura e agroindústria. Piracicaba, ESALQ, 1983. 15p.

HANSEN, J. et al. Dangerous Human-Made interference with Climate a GISS model Study Atmospheric Chemistry and Physics, 7, 2287-2312, (2007).

HIRATA, Y.S. Experiências e perspectivas do tratamento anaeróbio no Brasil. In: Taller y Seminario Latinoamericano Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales, 3, 1994, Montevideo. Proceedings ... Montevideo: Graphis Ltda. Juan C. Gomez, 1994, p.281-291.

ICLEI - Brasil - Governos Locais pela Sustentabilidade. Manual para aproveitamento do biogás: volume dois, efluentes urbanos. ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, Secretariado para América Latina e Caribe, Escritório de projetos no Brasil, São Paulo, 2010

IBGE. Censo Demográfico 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>. Acesso em 21/08/2011.

INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. V. 1, 2, 3, 4, 5. IPCC, United Nations Environment Program, Institute for Global Environmental Strategies, Kanagawa, JAPAN, 2006.

IPEA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Utilização do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. Série: Eixos do desenvolvimento Brasileiro. Fevereiro de 2011.

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A; Tratamento de esgotos domésticos, 3ª Edição, ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 720p, 1995.

LETTINGA, G.; HULSHOF, P. L. W.; ZEEMAN, G. Biological Wastewater Treatment. Part I: Anaerobic wastewater treatment. Lecture Notes. Wageningen Agricultural University, ed. January 1996.

LO, K.V.; LIAO, P.H. Digestion of cheese whey with anaerobic rotating biological contact reactors. Biomass, Barking, 10:243-52, 1986.

MATSUMURA, E. M. Perspectivas para conservação e reuso de água na indústria de alimentos - Estudo de uma unidade de processamento de frangos. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo : s.n., 2007.

MEES, J. B. R. Tratamento de Resíduos Líquidos III, Ministério da Educação Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Medianeira: 2004

METCALF & EDDY, Inc. "Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse". McGraw-Hill International Editions, 3rd ed., New York, 1991.

MILLER, D.; WHITNEY, J. O. Beyond Strategy: Configuration as a Pillar of competitive Advantage. Business Horizons, 1999.

MONTENEGRO, Prefeitura Municipal. Lei N.º 4.293, de 20 de outubro de 2005. Institui o Código de Meio Ambiente do Município.

MOREIRA, J.C. SENE, Eustáquio. Geografia Geral e do Brasil: espaço geográfico e globalização. São Paulo : Scipione, 2005. p.431.

NATIONAL GEOGRAPHIC BRASIL. População mundial: já somos 7 bilhões. Edição 130. Por Robert Kunzig. Disponível em: <http://viajeaqui.abril.com.br/national-geographic/edicao-130/populacao-mundial-7-bilhoes-613876.shtml>. Acessado em 01/06/2011.

NEMEROW, N. L. Aguas residuales industriales : teorías, aplicaciones y tratamiento.. Madrid: Blume, 1977. 572 p.: il.

NUNES, J.A. Tratamento físico-químico de águas residuárias industriais. 4 ed. revisada. Aracaju, 2004.

OLIVO, R. O Mundo do Frango, Cadeia Produtiva da Carne do Frango. Criciúma : Editora do Autor, 2006. 680p.

OCKERMAN, H. W.; HANSEN, C. L. Industrialización de subproductos de origen animal. Zaragoza : ACRIBIA, 1994. p. 377.

PACHECO, J. W.; YAMANAKA, H. T. Guia técnico ambiental de abates, São Paulo : CETESB, 2006. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em 14/11/2011.

PAULA JÚNIOR, D.R. de et al. Estabilização anaeróbia de lodos. In: PROSAB - Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. Digestor de

resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento do biogás. Coordenação: Sérgio Túlio Cassini. 1. ed., cap. 3, p. 53-93. Vitória, ES, 2003.

PINTO, R. O. Avaliação da digestão anaeróbia na bioestabilização de resíduos orgânicos, lodos de tanques sépticos, dejetos suínos e lixiviado. 2006. 233 f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

POMPERMAYER R. S., PAULA JR D.R.,(2000), Estimativa do potencial brasileiro de produção de biogás através da biodigestão da vinhaça e comparação com outros energéticos, .Anais 3. Encontro de. Energia no Meio Rural Setembro.

ROSA, A. L. M., A contribuição do MDL à promoção do desenvolvimento sustentável: um estudo empírico com os projetos aprovados no Brasil. 2007. 163 f. Dissertação (Mestrado em Administração) - Curso de Pós-Graduação em Administração, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

SALOMON, K., R. (2007), Avaliação Técnico-Econômica e Ambiental da Utilização do Biogás Proveniente da Biodigestão da Vinhaça em Tecnologias para Geração de Eletricidade, Itajubá, 219 p. Tese de Doutorado (Doutorado em Conversão de Energia) - Instituto de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá.

SCHOENHALS, M. Avaliação da Eficiência do Processo de Flotação Aplicado ao Tratamento Primário de Efluentes de Abatedouro Avícola. Dissertação de Mestrado. Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis : UFSC, 2006.

SILVA, L. C., VENTURINI, K. S., SARCINELLI, M. F. Processamento da carne de frango. Boletim Técnico - PIE-UFES:02107 - Editado: 15.10.2007.

SINTRUT - PINI - Preço do Concreto Armado: Disponível em: [http://www.sintrut.com.br/Profissionais/thm\\_PINI.html](http://www.sintrut.com.br/Profissionais/thm_PINI.html). Acesso em 22/09/2011.

SOUZA, P. F. M.; Metodologias de monitoramento de projetos de MDL: uma análise estrutural e funcional. 2005. 116 f. Dissertação

(mestrado em Planejamento energético). Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ. Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.ppe.ufrj.br/ppe/production/tesis/pfernandez.pdf>. Acesso em: 04/06/2011.

SOUZA, S. N. M., PEREIRA, W. C., PAVAN, A. A. Custo da eletricidade gerada em conjunto motor gerador utilizando biogás da suinocultura. UNICAMP, 2004. Disponível em: <http://www.feagri.unicamp.br/energia/agre2004/Fscommand/PDF/Agrener/Trabalho%2041.pdf>. Acesso em 20/10/2011.

VAN HAANDEL, A. C.; LETTINGA, G. Tratamento anaeróbio de esgotos. Um manual para regiões de clima quente. Campina Grande – PB, 1984. Ed. epgraf. VON SPERLING, M. Lagoas de estabilização. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – DESA/UFMG. Belo Horizonte – MG, 1996, v.3, 140p.